



TUGAS AKHIR - RE141581

ANALISIS PENURUNAN COD PADA AIR LIMBAH NON TOKSIK RUMAH SAKIT X MENGGUNAKAN BIOFILTER AEROBIK

ISYYATUL AUFA
NRP 3311 100 015

DOSEN PEMBIMBING
Ir. Didik Bambang Supriyadi, M.T

DOSEN CO-PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - RE141581

ANALYSIS OF COD DECREASING IN HOSPITAL "X" NON TOXIC WASTEWATER USING AEROBIC BIOFILTER

**ISYYATUL AUFA
NRP 3311 100 015**

**SUPERVISOR
Ir. Didik Bambang Supriyadi, M.T.**

**CO-SUPERVISOR
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS PENURUNAN COD PADA AIR LIMBAH NON
TOKSIK RUMAH SAKIT X MENGGUNAKAN
BIOFILTER AEROBIK

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelara Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
ISYYATUL AUFA
NRP. 3311100015

Disetujui oleh:
Dosen Pembimbing Tugas Akhir



Ir. Didik Bambang S., M.T.
NIP. 19630705 199203 1 001

Dosen Co-Pembimbing Tugas Akhir



Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.
NIP. 19550128 198503 2 001



ABSTRAK

ANALISIS PENURUNAN COD PADA AIR LIMBAH NON TOKSIK RUMAH SAKIT X MENGGUNAKAN BIOFILTER AEROBIK

Nama Mahasiswa : Isyyatul Afa
NRP : 3311100015
Dosen Pembimbing : Ir. Didik Bambang Supriyadi, M.T
Dosen Co-pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc

Rumah Sakit X adalah rumah sakit umum Pemerintah Kota Surabaya dengan tipe B. Rumah sakit ini memiliki dua Instalasi Pengolahan Air Limbah yang diperuntukkan limbah non toksik dan limbah toksik. Proses pengolahan biologis pada air limbah non toksik menggunakan unit *activated sludge*. Kondisi *activated sludge* di IPAL rumah sakit tersebut masih belum optimal kandungan efluen air limbahnya untuk parameter COD belum memenuhi baku mutu sesuai Pergub Jatim No.72 Tahun 2013 sebesar 80 mg/L. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis efisiensi removal COD air limbah menggunakan biofilter aerobik rangkaian seri dengan variasi jenis media. Biofilter aerobik ini dimaksudkan sebagai *post-treatment* pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit X.

Penelitian menggunakan biofilter aerobik ini dilakukan pada skala laboratorium menggunakan media *bioball* dan kerikil yang memiliki diameter 25-30 dan ketinggian sebesar 40 cm. Sistem yang digunakan yaitu kontinu dengan aliran *downflow* dan waktu kontak 8 jam.

Hasil removal COD pada media *bioball* yaitu pada stage 1 sebesar 52%, pada stage 2 sebesar 27%, dan pada stage 3 sebesar 33%. Untuk media kerikil pada stage 1 sebesar 27%, pada stage 2 sebesar 27%, dan pada stage 3 sebesar 32%. Perhitungan dimensi biofilter aerobik jika diterapkan di Rumah Sakit yaitu berukuran 1,4 m x 0,7 m x 4 m dengan jumlah kompartemen sebanyak 8 buah.

Kata kunci: air limbah rumah sakit, biofilter aerobik, *bioball*, COD, kerikil

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRACT

ANALYSIS OF COD DECREASING IN HOSPITAL “X” NON TOXIC WASTEWATER USING AEROBIC BIOFILTER

Name : Isyyatul Aufa
NRP : 3311100015
Supervisor : Ir. Didik Bambang Supriyadi, M.T
Co-supervisor : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc

Hospital X is Type-B general hospital in Surabaya. The hospital has two wastewater treatment which designated to non-toxic waste and toxic waste. Biological treatment process in a non-toxic wastewater using activated sludge. Conditions of activated sludge in hospital WWTP are still not optimal. content of the waste water effluent like COD parameters do not meet the quality standards appropriate East Java Governor Regulation 72 in 2013. Aims of this study was to analysis the COD removal efficiency of wastewater using aerobic biofilter series with variation of media types. Aerobic biofilter is intended as a post-treatment at the Waste Water Treatment Hospital X.

Studies using aerobic biofilter is done on a laboratory scale using bioball media and gravel that has a diameter of 25-30 and a height of 40 cm. The system used is continuous with the downflow flows and contact time of 8 hours.

COD removal results in bioball media that is at stage 1 by 52%, in stage 2 by 27%, and in stage 3 by 33%. For gravel media at stage 1 by 27%, in stage 2 by 27%, and in stage 3 by 32%. Calculation of aerobic biofilter dimension when applied in Hospital namely measuring 1,4 m x 0,7m x 4m with a number of compartements 8 units.

Keywords: aerobic biofilter, bioball, COD, gravel, hospital waste water

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT karena dengan rahmat serta hidayah-Nya penulisan tugas akhir dapat selesai tepat waktu. Tugas akhir dengan judul "Analisis Penurunan COD pada Air Limbah Non Toksik Rumah Sakit X Menggunakan Biofilter Aerobik".

Ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada :

1. Keluarga tercinta yang selalu memberikan doa, motivasi dan dukungan atas tercapainya penyelesaian tugas akhir.
2. Bapak alm. Ir. Didik Bambang S, M.T selaku dosen pembimbing sekaligus dosen wali, yang telah banyak memberikan bimbingan dan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir.
3. Ibu Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc, selaku dosen co-pembimbing atas segala bimbingan yang telah diberikan.
4. Bapak Ir. M. Razif, MM dan Ibu Ir. Atiek Moesriati, Mkes selaku dosen penguji tugas akhir bimbingan yang telah diberikan selama menyelesaikan tugas akhir.
5. Rekan seperjuangan penelitian di RSU Haji, Ifah, Lutfi dan Iqbal atas segala bantuan yang diberikan
6. Teman seangkatan 2011 yang memberikan motivasi dan bantuannya
7. Pihak RSU Haji atas izin yang diberikan sehingga penelitian ini dapat berlangsung

Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan diaplikasikan di RSU Haji. Kritik dan saran sangat diharapkan oleh penulis untuk menyempurnakan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, Juli 2015

Penyusun

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| ABSTRAK | i |
| ABSTRACT | iii |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR TABEL | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| BAB 1 | 1 |
| PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Tujuan..... | 3 |
| 1.4 Manfaat..... | 3 |
| 1.5 Ruang Lingkup..... | 3 |
| BAB 2 | 5 |
| TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Proses Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit X..... | 5 |
| 2.2 Air limbah Rumah Sakit | 5 |
| 2.2.1 Sumber Air Limbah di Rumah Sakit | 5 |
| 2.2.2 Karakteristik Air Limbah Rumah Sakit..... | 7 |
| 2.2.3 Peraturan Air Limbah Rumah Sakit..... | 10 |
| 3.3 Biofilter Aerobik..... | 12 |
| 3.4 Media Biofilter (Kerikil dan <i>Bio-ball</i>)..... | 14 |
| 3.5 Pengertian <i>Biofilm</i> | 16 |
| 3.6 <i>Clogging</i> pada Media Filter..... | 17 |

| | | |
|-----------------------------|--|-----------|
| 3.7 | Tindakan Rumah Sakit jika Terjadi <i>Clogging</i> pada Media Biofilter | 18 |
| 3.8 | Proses Pertumbuhan Mikroba | 18 |
| 3.9 | Desain Biofilter Aerobik | 20 |
| 3.10 | Penelitian Terdahulu | 21 |
| BAB 3 | | 23 |
| METODE PENELITIAN | | 23 |
| 3.1 | Kerangka Penelitian..... | 23 |
| 3.2 | Tahapan Penelitian | 25 |
| BAB 4 | | 33 |
| HASIL DAN PEMBAHASAN | | 33 |
| 4.1 | Penelitian Pendahuluan..... | 33 |
| 4.3 | Tahap Seeding dan Aklimatisasi | 35 |
| 4.3.1 | <i>Seeding</i> | 35 |
| 4.3.2 | Aklimatisasi | 37 |
| 4.4 | Running Reaktor I (Media <i>Bioball</i>)..... | 67 |
| 4.4.1 | Biofilter I Stage 1 | 67 |
| 4.4.2 | Biofilter I Stage 2 | 69 |
| 4.4.3 | Biofilter I Stage 3 | 70 |
| 4.5 | Running Reaktor II (Media Kerikil)..... | 72 |
| 4.5.1 | Biofilter II Stage 1 | 72 |
| 4.5.2 | Biofilter II Stage 2 | 74 |
| 4.5.3 | Biofilter II Stage 3 | 75 |
| 4.6 | Perhitungan Dimensi Biofilter Aerobik | 92 |
| BAB 5 | | 98 |
| KESIMPULAN DAN SARAN | | 99 |

| | |
|-------------------------------|------------|
| 5.1. Kesimpulan | 99 |
| 5.2. Saran | 99 |
| DAFTAR PUSTAKA | 101 |
| LAMPIRAN A | 105 |
| LAMPIRAN B | 113 |
| LAMPIRAN C | 117 |
| BIOGRAFI PENULIS | 119 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Kandungan Pencemar Air Limbah <i>Laundry</i> | 7 |
| Tabel 2.2 Kriteria Mutu Air Limbah Kegiatan <i>Laundry</i> | 7 |
| Tabel 2.3 Jenjang Taksonomi | 12 |
| Tabel 2.4 Senyawa Fosfor yang Sering Ditemukan | 23 |
| Tabel 3.1 Matriks Penelitian | 27 |
| Tabel 3.2 Uji Parameter dan Metode Uji | 32 |
| Tabel 4.1 Data Perhitungan Volume Rongga Media..... | 34 |
| Tabel 4.2 Kapasitas dan Debit Pengolahan Reaktor | 35 |
| Tabel 4.3 Karakteristik Kandungan Air Limbah <i>Laundry</i> | 36 |
| Tabel 4.4 Data Analisis Kandungan Bilangan Permanganat..... | 39 |
| Tabel 4.5 Data Hasil Analisis Kandungan COD | 42 |
| Tabel 4.6 Senyawa Fosfor yang Sering Ditemukan | 44 |
| Tabel 4.7 Data Hasil Analisis Kandungan Fosfat | 46 |
| Tabel 4.8 Data Hasil Analisis Kandungan Deterjen | 51 |
| Tabel 4.9 Data Hasil Analisis pH | 52 |
| Tabel 4.10 Data Hasil Analisis Kandungan TSS | 56 |
| Tabel 4.11 Data Hasil Analisis Kandungan Kekeruhan | 60 |

-halaman ini sengaja dikhongkan-

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Kegiatan Usaha <i>laundry</i> Skala Kecil..... | 5 |
| Gambar 2.2 Reaksi Pembentukan Detejen. | 8 |
| Gambar 2.3 Transpost dan Adsorpsi dari Molekul Organik pada Permukaan Benda Padat | 13 |
| Gambar 2.4 Transport Sel ke Permukaan Benda Padat dan Adsorpsi..... | 14 |
| Gambar 2.5 Pertumbuhan dan Perkembangbiakan Bakteri pada Permukaan Benda Padat | 15 |
| Gambar 2.6 Penempelan dan Pelepasan Bakteri | 17 |
| Gambar 2.7 Skema Aliran <i>Up Flow</i> dan <i>Down Flow</i> BAF | 17 |
| Gambar 2.8 Kurva Pertumbuhan Mikroorganisme..... | 20 |
| Gambar 3.1 Kerangka Penelitian | 26 |
| Gambar 3.2 Denah Reaktor Biofilter Aerob | 29 |
| Gambar 3.3 Potongan A-A Reaktor Biofilter Aerob | 29 |
| Gambar 3.4 Rangkaian Alir Pengolahan | 29 |
| Gambar 4.1 Nilai Bilangan Permanganat ketika <i>Seeding</i> dan Aklimatisasi Media <i>Bioball</i> | 38 |
| Gambar 4.2 Nilai Removal COD pada Reaktor | 43 |
| Gambar 4.3 Nilai Removal Fosfat pada Reaktor | 48 |
| Gambar 4.4 Gambar Dua Gugus pada Surfaktan..... | 49 |
| Gambar 4.5 Nilai Removal TSS pada Reaktor | 58 |
| Gambar 4.6 Lapisan Mikroorganisme pada Media Filter | 58 |
| Gambar 4.7 Nilai Removal Kekeruhan pada Reaktor | 61 |

-halaman ini sengaja dikhongkan-

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Rumah sakit adalah institusi pelayanan kesehatan yang menyelenggarakan pelayanan kesehatan perorangan secara paripurna yang menyediakan pelayanan rawat inap, rawat jalan dan gawat darurat (UU RI Nomor 44 Tahun 2009). Kegiatan pelayanan kesehatan tersebut akan menghasilkan air limbah. Air limbah rumah ini mengandung berbagai zat beracun seperti obat-obatan, radionuklida, pelarut dan desinfektan dari laboratorium serta kegiatan penelitian atau ekskresi obat (Verlicchi *et al.*, 2010). Berbagai zat beracun yang terkandung dalam air limbah rumah sakit, sebelum dibuang ke badan air harus diolah terlebih dahulu sehingga dapat memenuhi standar baku mutu yang berlaku (Filliazati, 2013).

Rumah Sakit X adalah rumah sakit umum milik Pemerintah Kota Surabaya dengan tipe B. Pada pengolahan air limbah domestik di Rumah Sakit X berasal dari kegiatan pelayanan medis, penunjang medis, laundry, instalasi gizi serta forensik. Air limbah ini diolah di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Pengolahan air limbah domestik Rumah Sakit X ini meliputi bak kontrol, bak ekualisasi, *activated sludge*, bak pengendap serta desinfeksi.

Berdasarkan data hasil laboratorium dari Rumah Sakit X pada tahun 2014, Nilai efluen dari air limbah non toksik untuk parameter COD adalah sebesar 180,9 mg/L. menurut Pergub Jatim No.72 Tahun 2013, baku mutu untuk efluen air limbah rumah sakit adalah sebesar 80 mg/L. Nilai efluen untuk parameter COD pada air limbah non toksik tersebut masih sangat tinggi meskipun sudah dilakukan *treatment* pada unit *activated sludge*.

Menurut Suparmadja (2014), nilai efluen air limbah yang melebihi baku mutu, kemungkinan disebabkan oleh beberapa hal. Pengolahan biologis yang menggunakan *activated sludge*, memiliki rasio BOD/COD yang kecil serta efisiensi removal hanya 40%. Menurut Metcalf dan Eddy (2003), pengolahan biologis dapat berjalan dengan optimal dengan rasio BOD/COD sebesar 0,4-0,8. Oleh karena itu, perlu adanya unit pengolahan tambahan

yang difungsikan sebagai *post-treatment* untuk menurunkan nilai COD pada air limbah serta mengoptimalkan fungsi dari pengolahan biologis sendiri.

Dalam penurunan konsentrasi COD pada air limbah, *post-treatment* yang tepat untuk mengolah limbah rumah sakit dapat menggunakan biofilter aerobik. Biofilter aerobik adalah reaktor yang dikembangkan melalui mikroba tumbuh dan berkembang pada media filter dan membentuk lapisan *biofilm* dengan suplai oksigen (Slamet dan Masduki, 2002). Biofilter ini dapat mengurangi beban organik atau zat toksik air limbah yang terdapat dalam bioreaktor (Clara *et al.*, 2005). Biofilter memiliki kelebihan utama yaitu membentuk *biofilm* sebagai tempat hidup bakteri dan menahan bakteri sehingga tidak ikut keluar bersama efluen (Parasmitha *et al.*, 2011). Biofilter juga menghasilkan lumpur yang lebih sedikit dibandingkan dengan lumpur aktif (Said, 2006).

Menurut penelitian Said (2005), pengolahan air limbah dengan biofilter menggunakan media *bioball* didapatkan efisiensi penghilangan COD sebesar 78-91%. Penggunaan media kerikil dalam biofilter aerobik juga mampu meningkatkan efisiensi penghilangan COD sebesar 75,4% (BPPT, 1994). Melalui penelitian ini diharapkan adanya penurunan kandungan COD pada air limbah non toksik Rumah Sakit X menggunakan biofilter aerobik rangkaian seri dengan variasi jenis media dan jumlah *stage* serta pertimbangan dimensi biofilter aerobik jika diterapkan di Instalasi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit X.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Berapa besar tingkat efisiensi penurunan COD pada air limbah non toksik Rumah Sakit X menggunakan biofilter aerobik?
2. Bagaimana pengaruh jenis media dan jumlah *stage* pada biofilter aerobik dalam penurunan COD menggunakan biofilter aerobik di IPAL Rumah Sakit X?

3. Berapa dimensi biofilter aerobik jika diterapkan di IPAL Rumah Sakit X?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis tingkat efisiensi penurunan COD pada air limbah non toksik Rumah Sakit X menggunakan biofilter aerobik.
2. Menganalisis pengaruh jenis media dan jumlah *stage* pada biofilter aerobik dalam penurunan COD menggunakan biofilter aerobik di IPAL Rumah Sakit X.
3. Menghitung dimensi biofilter aerobik di IPAL Rumah sakit X.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan kontribusi ilmiah untuk penelitian dalam meningkatkan kualitas efluen COD air limbah di rumah sakit.
2. Memberikan saran kepada pihak rumah sakit untuk meningkatkan kualitas efluen COD dan pertimbangan dimensi biofilter aerobik jika diterapkan di rumah sakit.
3. Memberikan data efisiensi penurunan COD dengan variasi jenis media dan jumlah *stage* menggunakan biofilter aerobik dalam peningkatan kualitas efluen air limbah di Rumah Sakit X kepada Badan Lingkungan Hidup Kota Surabaya.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium, di laboratorium Pemulihan Air dan *workshop* Teknik Lingkungan.
2. Sampel yang digunakan berasal dari outlet *activated sludge* IPAL Rumah Sakit X.

3. Reaktor menggunakan rangkaian seri, dioperasikan dengan sistem *continue*, dan menggunakan aliran *downflow* dengan ketinggian media 40 cm.
4. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis media dan jumlah *stage*
 - Jenis media : Kerikil dan *bioball*
 - Jumlah *stage* : 1 *stage*, 2 *stage*, 3 *stage*
5. Parameter penelitian pendahuluan : BOD, COD, TSS, N dan P
Parameter uji :COD
6. Waktu penelitian dilakukan mulai bulan Maret – Mei 2015.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit X

Dalam kegiatannya untuk melayani kesehatan publik, Rumah Sakit X menghasilkan air limbah. Menurut sumber/kegiatannya, limbah cair domestik berasal dari pelayanan medis, penunjang medis, laundry, instalasi gizi dan forensik. Limbah cair rumah sakit ini adalah semua air buangan dari kegiatan rumah sakit yang kemungkinan mengandung mikroorganisme serta darah. Semua air limbah disalurkan kedalam pipa air limbah.

Menurut data Rumah Sakit X, sumber limbah domestik ini berasal dari kegiatan rawat inap, rawat jalan, rawat inap, dan kantor administrasi. Air limbah ini semuanya mula-mula masuk ke bak kontrol, selanjutnya menuju bak ekualisasi untuk menstabilkan debit dan konsentrasi air limbahnya. Setelah masuk ke bak pengumpul, air limbah di pompa menuju *activated sludge* untuk diolah secara biologis.

Air limbah yang keluar dari *activated sludge* tersebut, selanjutnya dialirkan ke bak pengendap akhir untuk mengendapkan lumpur kemudian menuju bak klorinasi untuk membunuh mikroorganisme patogen dalam air limbah. Efluen air limbah ditampung pada kolam indikator sebelum dibuang ke badan air. Skema pengolahan air limbah Rumah Sakit X dapat dilihat pada Gambar 2.1.

2.2 Air limbah Rumah Sakit

Air limbah rumah sakit berasal dari limbah cair dari laboratorium, dapur, pembuangan kamar mandi, limbah dari cairan untuk pembersih di rumah sakit, perawatan bangunan serta dari disinfektan (Khusnuryani, 2008). Air limbah rumah sakit banyak mengandung BOD dan COD yang menjadi parameter pencemar (Nurdianto *dkk.*, 2011).

2.2.1 Sumber Air Limbah di Rumah Sakit

Air limbah rumah sakit berasal dari berbagai kegiatan serta fasilitas yang ada di rumah sakit. Tabel 2.1 menunjukkan

beberapa kegiatan yang merupakan sumber air limbah rumah sakit.



Gambar 2. 1 Proses Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit X

Tabel 2. 1 Sumber Air Limbah Rumah Sakit

| No | Kegiatan | Karakteristik dan Jenis Air Limbah |
|-----------|-------------------|--|
| 1 | Instalasi Gizi | Air limbah dari proses pencucian dan pengolahan makanan |
| 2 | Laboratorium | Air limbah dari bekas reagen, pencucian alat dan lain-lain |
| 3 | Instalasi Farmasi | Air limbah dari sisa bungkus obat dan cuci tangan |
| 4 | Laundry | Berasal dari limbah cucian sprei, sarung bantal, pakaian operasi, masker, handuk, selimut, dan linen rumah sakit |
| 5 | Ruang Operasi | Air limbah berasal dari darah bekas operasi, pencucian peralatan, dan air limbah kamar mandi |
| 6 | Ruang Bersalin | Berasal dari darah persalinan, sabun, dan air limbah kamar mandi |

Lanjutan Tabel 2.1

| No | Kegiatan | Karakteristik dan Jenis Air Limbah |
|----|-------------------------|---|
| 7 | Instalasi Gawat Darurat | Berupa air bekas pencucian luka dan lain-lain |
| 8 | Ruang Perawatan | Air limbah berasal dari kamar mandi dan WC |
| 9 | Poliklinik | Air limbah berasal dari pencucian tangan serta bekas pencucian alat |

Sumber: Asmadi, 2013

Air limbah rumah sakit tersebut merupakan sumber pencemaran air yang sangat potensial karena mengandung senyawa organik yang tinggi dan mengandung senyawa kimia lain serta mikroorganisme patogen (Said, 2006).

Menurut Khusnuryani (2008), limbah cair rumah sakit yang masuk ke badan air akan menimbulkan dampak terhadap penduduk sekitar yang menggunakan air tersebut. Limbah rumah sakit menyebabkan perubahan pada kualitas air yang dilewatinya, yaitu:

1. Peningkatan zat padat berupa bahan organik sehingga terjadi kenaikan limbah baik tersuspensi ataupun terlarut.
2. Peningkatan kebutuhan oksigen terlarut karena adanya aktivitas mikroba pembusuk bahan organik, akibatnya TSS (*Total Soluble Solid*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) naik serta DO (*Dissolved Oxygen*) rendah sehingga mengganggu kehidupan dalam perairan.
3. Meningkatnya senyawa beracun dalam air dan menimbulkan bau busuk yang keluar dari ekosistem perairan.

2.2.2 Karakteristik Air Limbah Rumah Sakit

Adanya kandungan bahan organik dalam limbah rumah sakit dapat menjadi karakteristik pencemar air limbah tersebut. Parameter tersebut yaitu BOD, COD, TSS, NH_3 , PO_4 dan yang lainnya. Berikut adalah parameter pencemar dari air limbah rumah sakit :

- *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

BOD adalah jumlah kebutuhan oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air limbah. Hasil analisis BOD

menunjukkan kandungan senyawa organik yang didegradasi (Metcalf dan Eddy, 2003). Kebutuhan oksigen biologi ditentukan dengan menginkubasi sampel selama 5 hari (Brown dan Caldwell, 2001).

Parameter BOD secara umum banyak dipakai untuk menentukan tingkat pencemaran air buangan. Selama pemeriksaan BOD, contoh yang diperiksa harus bebas dari udara luar untuk mencegah kontaminasi oksigen di udara. Konsentrasi air buangan juga harus berada pada tingkat pencemaran tertentu untuk menjaga oksigen terlarut selalu ada. Hal ini penting dikarenakan kelarutan oksigen dalam air terbatas dan hanya berkisar ± 9 ppm (Sawyer dan Mc Carty, 2003).

- *Chemical Oxygen Demand (COD)*

COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air limbah secara kimiawi menggunakan kalium dikromat dalam kondisi asam. Nilai COD yang tinggi dapat terjadi ketika terdapat senyawa anorganik pada air limbah yang dapat bereaksi dengan kalium dikromat (Metcalf dan Eddy, 2003).

- *Dissolve Oxygen (DO)*

DO atau oksigen terlarut dibutuhkan oleh mikroorganisme aerobik untuk proses respirasi. Jumlah oksigen yang terlarut dalam air tergantung pada suhu, tekanan parsial gas dalam atmosfer, tingkat kelarutan gas dalam air, dan konsentrasi zat pengotor pada air (Metcalf dan Eddy, 2003). Oksigen dibutuhkan dalam katabolisme senyawa organik dimana oksigen ini berfungsi sebagai penerima elektron terakhir pada proses aerob (Rittmann dan McCarty, 2001).

Konsentrasi DO di atas 1,5 mg/L dibutuhkan agar dapat terjadi proses nitrifikasi. Pada proses aerob dapat terjadi perubahan konsentrasi DO karena DO tersebut digunakan sesuai dengan kebutuhan oksigen dalam air limbah untuk proses respirasi dan oksidasi (Ding *et al.*, 2012). Keadaan oksigen terlarut berlawanan dengan kandungan BOD. Semakin tinggi konsentrasi BOD maka nilai oksigen terlarut semakin kecil.

- Total Suspended Solid (TSS)

TSS digunakan sebagai salah satu parameter untuk mengetahui kinerja dan kontrol proses sebuah Instalasi Pengolahan Air Limbah. TSS merupakan zat padat yang terdapat pada air limbah dan dapat dipisahkan dengan filter. Filter yang digunakan untuk uji TSS memiliki ukuran pori antara 0,45 μm sampai 2 μm (Metcalf dan Eddy, 2003).

- pH

Besarnya konsentrasi ion hidrogen dinyatakan dalam pH. Nilai pH dimana mikroorganisme dapat hidup yaitu berkisar antara 6-9. Berdasarkan penelitian sebelumnya, nilai pH yang netral pada biofilter memiliki efisiensi penyisihan pencemar lebih tinggi terutama untuk penyisihan ammonia (Liu *et al.*, 2008).

Konsentrasi ion hidrogen (pH) pada umumnya memberikan pengaruh yang besar pada kecepatan pertumbuhan biomassa. Secara umum, pH operasi untuk proses aerobik berkisar pada pH 6,5-7,2 (Slamet dan Masduki, 2002).

- NH_3

Amoniak (NH_3) merupakan senyawa nitrogen yang menjadi NH_4^+ pada pH rendah yang disebut dengan ammonium. Amoniak dalam air permukaan berasal dari air seni, tinja serta penguraian zat organik secara mikrobiologis yang berasal dari air alam atau air buangan industri ataupun limbah domestik. Besarnya kandungan amoniak pada air permukaan tergantung pada beberapa faktor yaitu sumber asalnya amoniak, keberadaan tanaman air yang menyerap amoniak, konsentrasi oksigen dan temperatur. Di dalam air limbah, senyawa amoniak ini dapat diolah secara mikrobiologis dengan cara aerasi melalui proses nitrifikasi hingga menjadi nitrit dan nitrat (Marsidi dan Herlambang, 2001).

- Fosfat

Fosfat dalam air limbah dapat berupa fosfat organik, *orthophosphate* anorganik atau sebagai fosfat kompleks/*polyphosphate*. Fosfat organik terdapat dalam air buangan penduduk dan sisa makanan. Kandungan fosfat yang tinggi dalam *effluent* limbah cair dapat menyebabkan eutrofikasi, yaitu tumbuhnya lumut dan microalgae yang berlebihan dalam badan air yang menerima limbah tersebut (Ahn, *et.al.*, 2007; Wagner, *et.al.*, 2002). Air yang mengandung $P > 0.015$ mg/L yang tersedia secara biologi dapat menyebabkan eutrofikasi (Lawrence, *et.al.*, 2002).

2.2.3 Peraturan Air Limbah Rumah Sakit

- a. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 58 Tahun 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Rumah Sakit

Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. 58 Tahun 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Rumah Sakit dalam pasal 3, berlaku untuk setiap rumah sakit yang:

1. Telah beroperasi sebelum dikeluarkannya keputusan ini, berlaku Baku Mutu Limbah Cair sebagaimana tersebut dalam Lampiran A dan wajib memenuhi Baku mutu limbah cair sebagaimana tersebut dalam lampiran B selambat-lambatnya tanggal 1 Januari 2000.
2. Tahap perencanaannya dilakukan sebelum dikeluarkannya keputusan ini, dan beroperasi setelah dikeluarkannya keputusan ini, berlaku baku Mutu Limbah Cair lampiran A dan wajib memenuhi Baku Mutu Limbah cair lampiran B selambat-lambatnya tanggal 1 Januari tahun 2000.
3. Tahap perencanaannya dilakukan dan beroperasi setelah dikeluarkannya keputusan ini berlaku Baku Mutu Limbah Cair sebagaimana tersebut dalam lampiran B.

Tabel 2. 2 Baku Mutu Air Limbah Rumah Sakit pada Lampiran A

| Parameter | Kadar Maksimum (mg/L) |
|------------------|-----------------------|
| BOD ₅ | 75 |
| COD | 100 |
| TSS | 100 |
| pH | 6,0 – 9,0 |

Tabel 2. 3 Baku Mutu Air Limbah Rumah Sakit pada Lampiran B

| Parameter | Kadar Maksimum |
|--------------------------------|--------------------------|
| FISIKA | |
| Suhu | 30 ⁰ C |
| KIMIA | |
| PH | 6 – 9 |
| BOD ₅ | 30 mg/L |
| COD | 80 mg/L |
| TSS | 30 mg/L |
| NH ₃ Bebas | 0,1 mg/L |
| PO ₄ | 2 mg/L |
| MIKROBIOLOGIK | |
| MPN-Kuman Golongan Coli/100 mL | 10.000 |
| RADIOAKTIVITAS | |
| ³² p | 7 x 10 ² Bq/L |
| ³⁵ S | 2 x 10 ³ Bq/L |
| ⁴⁵ Ca | 3 x 10 ² Bq/L |
| ⁵¹ Cr | 7 x 10 ⁴ Bq/L |
| ⁶⁷ Ga | 1 x 10 ³ Bq/L |
| ⁸⁵ Sr | 4 x 10 ³ Bq/L |
| ⁹⁹ Mo | 7 x 10 ³ Bq/L |
| ¹¹³ Sn | 3 x 10 ³ Bq/L |
| ¹²⁵ I | 1 x 10 ⁴ Bq/L |
| ¹³¹ I | 7 x 10 ⁴ Bq/L |

Sumber : Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 58 Tahun 1995

- b. Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya

Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 mengatur tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya. Dalam peraturan ini dijelaskan juga baku mutu limbah cair untuk kegiatan rumah sakit. Tabel 2.4 menunjukkan baku mutu limbah cair untuk kegiatan rumah sakit.

Tabel 2. 4 Baku Mutu Limbah Cair Kegiatan Rumah Sakit

| Parameter | Kadar Maksimum (mg/L) |
|----------------------------------|-----------------------|
| Suhu | 30 ⁰ C |
| PH | 6 – 9 |
| BOD ₅ | 30 |
| COD | 80 |
| TSS | 30 |
| NH ₃ -N Bebas | 0,1 |
| PO ₄ | 2 |
| MPN-Kuman Golongan Koli / 100 mL | 10.000 |

Sumber : Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013

Dari acuan baku mutu air limbah rumah sakit yang telah dijelaskan, baku mutu yang digunakan untuk efluen air limbah IPAL Rumah Sakit X adalah berdasarkan Peraturan Gubernur Jatim No.72 Tahun 2013. Meskipun kadar pencemar dari tiap baku mutu menunjukkan nilai yang sama, namun pertimbangan lokasi juga dijadikan acuan karena Rumah Sakit X berada di wilayah Jawa Timur.

1.3 Biofilter Aerobik

Pada air limbah sederhana oleh mikroorganisme rumah sakit dapat diolah dengan pengolahan biologis menggunakan biofilter aerobik. pengolahan air limbah secara biologis intinya adalah proses pemutusan molekul kompleks zat pencemar

menjadi molekul. Proses ini sangat peka terhadap faktor suhu, pH, oksigen terlarut dan zat-zat inhibitor terutama zat-zat beracun (Pangestuti, 2014).

Biofilter adalah reaktor biologis film-tetap (*fixed-film*) dengan menggunakan media berupa kerikil, plastik atau bahan padat lain dimana limbah cair akan masuk kedalam reaktor tersebut secara kontinu. Adanya bahan isian menyebabkan mikroorganisme yang tumbuh dan melekat atau membentuk lapisan tipis (*biofilm*) pada permukaan media tersebut (Metcalf dan Eddy, 2003). Dalam penerapannya, biofilter dibagi menjadi 3 yaitu biofilter aerobik, anaerobik dan kombinasi aerob-anaerob. Biofilter aerobik adalah proses pengolahan air limbah dengan menggunakan media penyangga dalam reaktor biologis dan bantuan aerasi (Herlambang, 2001).. Biofilter aerobik terbukti sangat efektif dalam banyak treatment untuk menghilangkan polutan (Wang *et al.*, 2010).

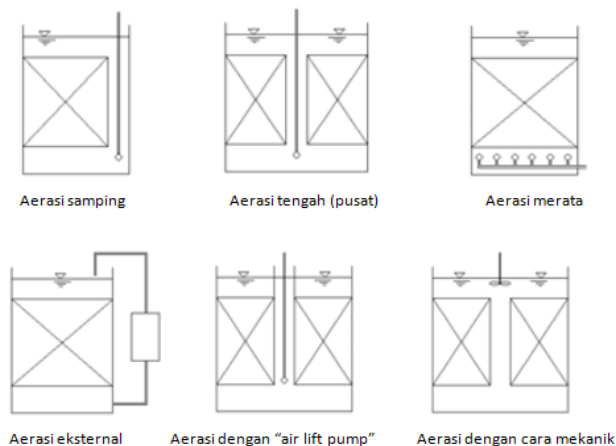
Di dalam proses pengolahan air limbah dengan proses biofilter aerobik, suplai udara dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti aerasi sampling, aerasi tengah, aerasi merata seluruh permukaan, aerasi eksternal aerasi dengan air lift pump dan aerasi dengan sistem mekanik dan dapat dilihat pada gambar 2.2. Sistem aerasi juga bergantung dari jenis media maupun efisiensi yang diharapkan (Herlambang dan Marsidi, 2002). Penyerapan oksigen dapat terjadi disebabkan terutama karena aliran sirkulasi atau aliran putar kecuali pada sistem aerasi merata seluruh permukaan media (Said, 2005).

Cara kerja biofilter yaitu oksigen dan nutrisi yang dibawa oleh air yang diolah akan terdifusi menembus lapisan *biofilm* sampai kepada lapisan sel yang paling dalam yang tidak dapat ditembus oleh oksigen dan nutrisi. Setelah beberapa lama, terjadi stratifikasi menjadi lapisan aerobik tempat oksigen masih dapat terdifusi dan lapisan anaerobik yang tidak mengandung oksigen. Ketebalan kedua lapisan ini bervariasi tergantung jenis reaktor dan material pendukungnya (Herlambang, 2001).

Menurut BPPT (1997), proses pengolahan limbah cair dengan sistem biofilter mempunyai beberapa keuntungan, yaitu:

1. Air limbah yang melalui media tempat tumbuhnya mikroorganisme sebagai biofilter, akan menghasilkan lapisan lendir yang disebut biological film. Air limbah yang

- mengandung bahan organik dan belum teruraikan di bak pengendap, akan mengalami penguraian secara biologis melalui lapisan lendir ini.
2. Efisiensi biofilter tergantung luas kontak limbah dengan mikroorganisme yang menempel di permukaan media filter. Semakin luas bidang kontak, efisiensi penurunan BOD, COD, TSS, MBAS, ammonium dan fosfor juga semakin besar.
 3. Biofilter berfungsi sebagai media penyaring air limbah, sehingga konsentrasi suspended solid dan *escheria coli* juga akan berkurang.



Gambar 2. 2 Metode Aerasi untuk Proses Pengolahan Air Limbah dengan Sistem Biofilter

(Sumber: Said, 2000)

1.4 Media Biofilter (Kerikil dan *Bio-ball*)

Menurut Said (2005) media biofilter yang dapat digunakan berupa kerikil, batu pecah (split), media plastik (polivinil chlorida), dan partikel karbon aktif dan lainnya. Herlambang dan Marsidi (2002) menyatakan bahwa dalam memilih media biofilter ada beberapa kriteria yang harus dipenuhi antara lain:

- a. Prinsip-prinsip yang mengatur pelekatan (adhesi) bakteri pada permukaan media dan pembentukan *biofilm*.
- b. Parameter yang mengendalikan pengolahan limbah.
- c. Sifat-sifat yang harus dipenuhi oleh paket media biofilter dalam reaktor biologi pada lingkungan spesifik dan sesuai dengan teknik aplikasinya.

Menurut Said (2001), selain sebagai tempat tumbuh dan menempel mikroorganisme, media juga berfungsi untuk mendapatkan unsur kehidupan yang dibutuhkannya, seperti nutrisi dan oksigen. Dua sifat penting yang harus ada pada media yaitu:

- a. Luas permukaan media
Semakin luas permukaan media, maka semakin besar jumlah biomassa per unit volume.
- b. Persentase ruang kosong
Semakin besar persentase ruang kosong, maka semakin besar kontak biomassa yang menempel pada media pendukung dengan substrat yang ada dalam air buangan.

Tabel 2. 5 Perbandingan Luas Permukaan Spesifik Media Biofilter

| No | Jenis Media | Luas Permukaan Spesifik (m^2/m^3) |
|----|---|---|
| 1 | Trickling filter dengan batu pecah | 100 – 200 |
| 2 | Model sarang tawon (<i>honeycomb modul</i>) | 150 – 240 |
| 3 | Tipe jaring | 50 |
| 4 | RBC | 80 – 150 |

Sumber: Said, 2005

Kemampuan biofilter dapat dinyatakan dalam dua istilah yaitu dengan laju beban hidrolik atau dengan laju beban organik. Beban hidrolik didefinisikan sebagai jumlah air limbah yang masuk ke dalam biofilter per luas filter per hari. Laju beban didefinisikan sebagai jumlah senyawa organik di dalam air limbah yang dihilangkan atau didegradasi di dalam biofilter per unit volume biofilter per hari (Herlambang, 2001).

Menurut Said (2005) kerikil memiliki luas permukaan yang besar, tidak mudah pecah, dan bakteri dapat hidup dan melekat pada permukaannya. Selain itu, penyumbatan yang terjadi pada kerikil sangat kecil dan volume rongganya besar dibandingkan dengan media lain serta mudah didapat dan relatif lebih murah.

Media *bio-ball* mempunyai keuntungan antara lain mempunyai luas spesifik yang cukup besar, pemasangannya mudah (*random*), tidak memerlukan manhole yang besar sehingga sangat cocok untuk pengolahan air limbah skala kecil (Kurniawati, 2013). Keuntungan dari media *bio-ball* yaitu karena ringan, mudah dicuci ulang, dan memiliki luas permukaan spesifik yang paling besar di bandingkan dengan jenis media biofilter lainnya, yaitu sebesar 200 – 240 m²/m³. Jenis media *bio-ball* memiliki diameter bermacam-macam salah satunya berdiameter 3 cm. Jenis ini merupakan diameter paling kecil dengan bentuknya yang seperti bola dimana pemasangannya (*random packing*) dapat meminimalkan terjadinya *clogging* (tersumbat).

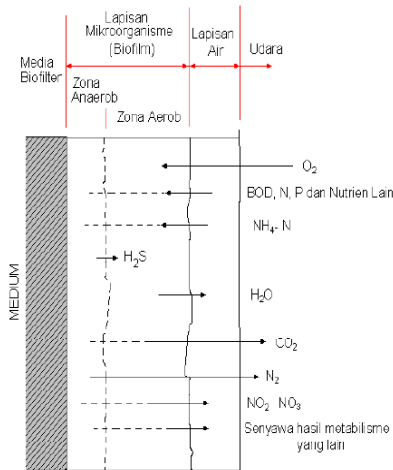
1.5 Pengertian *Biofilm*

Di dalam reaktor biofilter, mikro-organisme tumbuh melapisi keseluruhan permukaan media dan pada saat beroperasi air mengalir melalui celah-celah media dan berhubungan langsung dengan lapisan massa mikroba (*biofilm*) (Herlambang dan Marsidi, 2002).

Biofilm dibentuk oleh satu jenis mikroba maupun lebih dari satu jenis mikroba. Sel tunggal bersifat floating dan berenang pada medium cair, sedangkan sel dalam *biofilm* harus dapat merespon berbagai faktor termasuk mengenal sisi pelekatan spesifik maupun non spesifik pada substrat (Karatan, 2009).

Mekanisme proses metabolisme dalam sistem *biofilm* secara aerobik dapat dilihat pada gambar 2.3. Gambar tersebut menjelaskan suatu sistem *biofilm* yang terdiri dari medium penyangga, lapisan *biofilm* yang melekat pada medium, lapisan air limbah dan lapisan udara yang terletak diluar. Senyawa polutan yang ada pada air limbah, akan terdifusi ke dalam lapisan biologis yang melekat pada permukaan medium. Pada saat bersamaan dengan menggunakan oksigen terlarut, senyawa polutan akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada pada

lapisan *biofilm* dan energi akan diubah menjadi biomassa. Suplai udara dapat menggunakan blower udara atau pompa sirkulasi (Said, 2005).



Gambar 2. 3 Mekanisme Proses Metabolisme didalam Biofilter

(Sumber: Said, 2005)

Menurut Said (2001), pengolahan air limbah dengan proses *biofilm* mempunyai beberapa keunggulan yaitu:

- Pengoperasiannya mudah
- Lumpur yang dihasilkan sedikit (daripada lumpur aktif)
- Dapat digunakan untuk pengolahan limbah dengan konsentrasi rendah maupun tinggi
- Tahan terhadap fluktuasi jumlah (debit) air limbah maupun fluktuasi konsentrasi
- Pengaruh penurunan suhu terhadap efisiensi pengolahan kecil

1.6 *Clogging* pada Media Filter

Clogging (penyumbatan) dapat terjadi melalui perangkap mekanikal dari partikel dengan cara sama dengan filter. *Clogging* juga disebabkan oleh pertumbuhan biomassa. Faktor yang

berpotensi besar membuat *clogging* pada media yaitu diameter celah bebas dan fraksi rongga pada media. Semakin besar diameter celah bebas dan fraksi rongga pada media, maka semakin kecil kemungkinan terjadi *clogging* pada media.

1.7 Tindakan Rumah Sakit jika Terjadi *Clogging* pada Media Biofilter

1. Pemberhentian sementara operasional IPAL, air limbah ditampung pada bak ekualisasi
2. Penutupan lubang influen biofilter aerobik
3. Pengangkatan media filter dari dalam biofilter aerobik
4. Pencucian media hingga bersih dari lapisan biomassa
5. Pengangkatan kembali media filter yang telah dicuci kedalam media biofilter
6. Pengoperasian kembali IPAL dan membuka lubang influen biofilter aerobik

Oleh karena proses pencucian yang memerlukan waktu lama akibat *clogging* pada media, terdapat kriteria media biofilter yang dapat diterapkan pada IPAL rumah sakit sehingga proses pencuciannya dapat dipercepat dan tidak memerlukan banyak tenaga.

1. Mempunyai luas permukaan spesifik besar
2. Mempunyai fraksi volume rongga tinggi
3. Diameter celah bebas besar
4. Dibuat dari bahan inert
5. Ringan
6. Pemeliharaan mudah

1.8 Proses Pertumbuhan Mikroba

Dalam continuous culture, mikroba ditumbuhkan secara terus menerus pada fase paling optimum untuk fase pertumbuhan yaitu fase eksponensial dimana sel membelah diri dengan laju konstan, massa menjadi dua kali lipat mengikuti kurva logaritmik.

Pada kondisi *steady state*, konsentrasi nutrisi, konsentrasi sel, laju pertumbuhan dan konsentrasi produk tidak berubah. Laju pertumbuhan spesifik dipengaruhi oleh

perbandingan laju aliran medium dengan volume kultur yang disebut laju dilusi (D), dimana

$$D = \frac{F}{V}$$

Keterangan :

F = laju aliran

V = Volume

D = Laju dilusi

Pendekatan kinetik terhadap reaksi biokimia berdasarkan persamaan monod (Reynolds, 1996)

$$\frac{dX}{dt} = \mu X = Y \frac{dS}{dt} \quad (1)$$

Keterangan :

dX/dt = laju pertumbuhan sel mikroorganisme, massa/(volume x waktu)

μ = koefisien pertumbuhan mikroorganisme, waktu⁻¹

koefisien pertumbuhan berdasarkan persamaan monod dikembangkan menjadi :

$$\mu = \mu_{\max} \left(\frac{S}{K_s + S} \right) \quad (2)$$

Keterangan ;

μ_{\max} = koefisien maksimum pertumbuhan mikroorganisme, waktu⁻¹

K_s = konsentrasi substrat dengan $\mu = \frac{1}{2} \mu_{\max}$

Kesetimbangan massa didalam sel mikroorganisme yaitu :

[akumulasi] = [pertambahan pertumbuhan] – [pengurangan pembusukan endogen] – [output]

Secara matematis, persamaan diatas berubah menjadi :

$$dX_1 \cdot V = V\mu X_1 dt - V k_e X_1 dt - Q_w X_1 dt - (Q - Q_w) X_2 dt \quad (3)$$

Keseimbangan massa pada substrat yaitu :

[akumulasi] = [input] – [output] – [pengurangan pertumbuhan]

Secara matematis, persamaan diatas berubah menjadi :

$$dS_1 \cdot V = Q S_1 dt - Q_w S_1 dt - (Q - Q_w) S_1 dt - V [dS_1]_{\text{growth}} \quad (4)$$

penurunan substrat saat pertumbuhan mikroorganisme menggunakan persamaan (1) sehingga $[dS_1]_{\text{growth}} = (\mu/Y)(X_1)dt$. Persamaan tersebut kemudian disubstitusi kedalam persamaan (4) sehingga :

$$dS_1 \cdot V = QS_1 dt - Q_w S_1 dt - (Q - Q_w) S_1 dt - V \frac{\mu}{Y} X_1 dt \quad (5)$$

penentuan persamaan (3) dan (5) dihitung secara matematis, sehingga bentuk persamaan diperoleh untuk menentukan nilai γ dan k_e

$$\frac{S_i - S_1}{X_1 \theta_1} = \frac{k_e}{\gamma} + \frac{1}{\gamma} \frac{1}{\theta_c} \quad (6)$$

Keterangan :

γ = koefisien produksi sintesis sel, mg VSS/mg BOD

k_e = laju kematian endogenous mikroorganisme, waktu⁻¹

θ_i = waktu detensi, waktu = V/Q

θ_c = waktu tinggal sel, waktu⁻¹ = (VX₁)/(QX₂)

Untuk menentukan K_s dan μ_{max} , persamaan matematisnya adalah :

$$\left(\frac{\theta_c}{1 + k_e \theta_c} \right) S_i = \frac{K_s}{\mu_{max}} + \frac{1}{\mu_{max}} S_1 \quad (7)$$

1.9 Desain Biofilter Aerobik

Desain biofilter aerobik dapat ditentukan berdasarkan perhitungan matematis meliputi:

- Volume media dapat ditentukan dengan persamaan 2.1

$$V_{media} = \frac{Q_{ave} \times BOD}{OLR_{BOD}} \quad (2.1)$$

Dimana:

V_{media} = Volume media yang diperlukan (m³)

Q_{ave} = Debit rata-rata limbah cair (L/hari)

BOD = Konsentrasi BOD masuk (mg/L)

OLR_{BOD} = Organic Loading Rate BOD (0,3-2,0 kg BOD/m³.hari)

- Volume reaktor dapat ditentukan dengan persamaan 2.2

$$V_{reaktor} = \frac{100}{40} \times V_{media}$$

(2.2)

- Waktu tinggal (td) dalam reaktor aerob dapat ditentukan dengan persamaan 2.3.

$$td = \frac{V \text{ reaktor}}{Q \text{ ave}} \times 24 \text{ jam/hari}$$

(2.3)

- Kebutuhan udara teoritis dapat ditentukan dengan persamaan 2.4.

$$Keb \text{ Udara teoritis} = \frac{2 \times BOD}{\mu \times O_2}$$

(2.4)

Dimana:

BOD = beban BOD removal (kg/hari)

μ = berat udara pada suhu 28°C = 1,1725 kg/m³

O₂ = jumlah oksigen di udara 21%

- Kebutuhan udara aktual dapat ditentukan dengan persamaan 2.5

$$Keb \text{ Udara aktual} = \frac{Keb \text{ udara teoritis}}{Efisiensi \text{ difuser}}$$

(2.5)

(Sumber: Said, 2008)

1.10 Penelitian Terdahulu

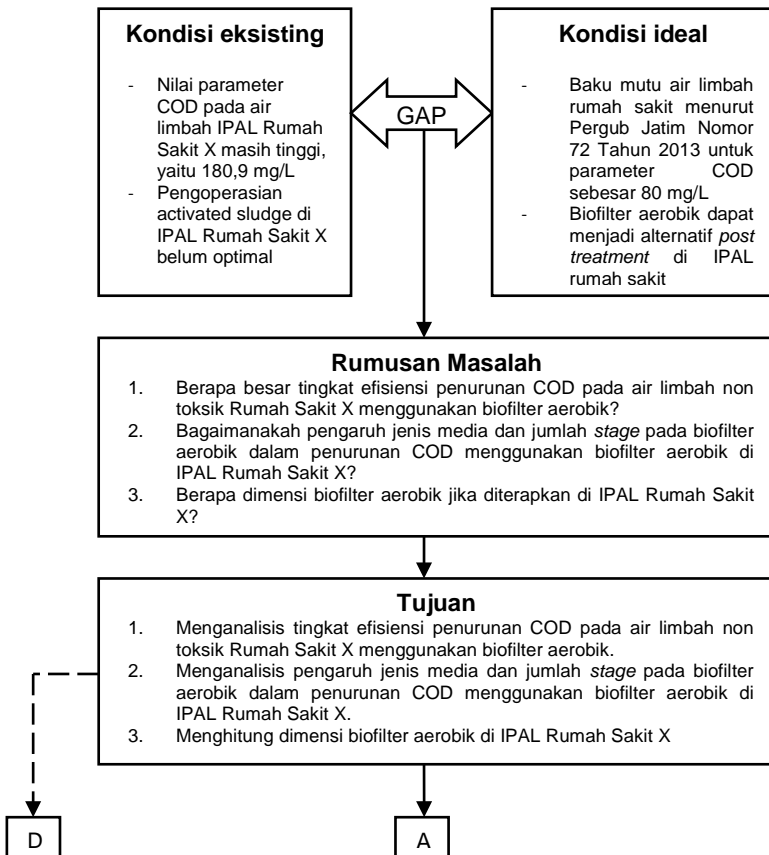
| Penulis | Judul penelitian | Hasil |
|------------------|---|--|
| Pangestuti, 2014 | Peningkatan kualitas efluen air limbah di RSUD Dr. M. Soewandhi menggunakan biofilter aerobik | Biofilter aeobik dalam pengolahan air limbah rumah sakit menggunakan media kerikil diameter 10-20 mm dan ketinggian media 40 cm, didapatkan efisiensi penyisihan hingga 93%. |
| Said, 2005 | Aplikasi <i>bioball</i> untuk media biofilter studi kasus pengolahan air | Pada air limbah industri pencucian jeans menggunakan biofilter |

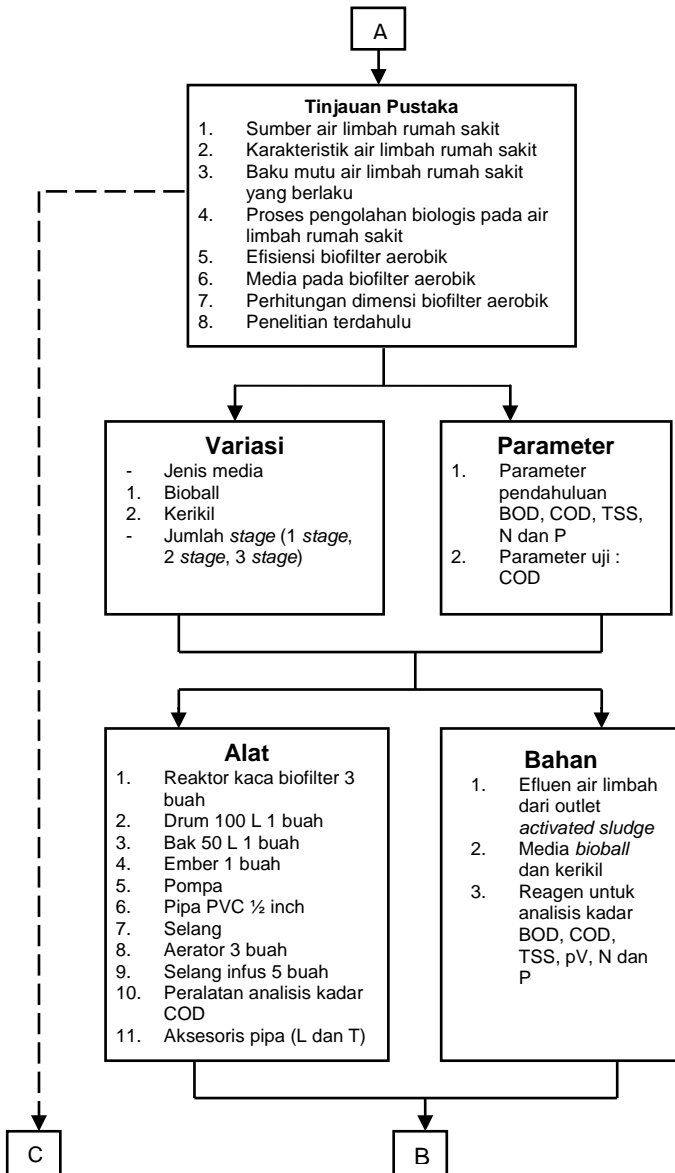
| Penulis | Judul penelitian | Hasil |
|----------------------------------|--|--|
| Lanjutan tabel 3.10 | limbah pencucian jeans | dengan media bio-ball diameter 4 cm, dalam kondisi waktu tinggal 1-3 hari didapatkan efisiensi penghilangan COD sebesar 80-93%. |
| Herlambang, 2001 | Pengaruh pemakaian biofilter struktur sarang tawon pada pengolahan limbah organik sistem kombinasi anaerob-aerob | Air limbah tahu dan tempe dapat diolah menggunakan biofilter aerobik dengan media sarang tawon dan waktu tinggal 7 hari, memberikan efisiensi penghilangan BOD sebesar 91% dan COD sebesar 85%. |
| Prakoswo dan Karnaningroem, 2007 | Pengolahan air tanah dangkal dengan biofilter <i>upflow</i> media <i>bioball</i> untuk budidaya ikan hias | Pengolahan air tanah dengan media <i>bioball</i> menggunakan variasi tinggi media 40, 50 dan 60 cm dan konsentrasi air tanah 100%, 75% dan 50% untuk penurunan nilai permanganat. Didapatkan efisiensi penurunan nilai permanganat terbesar pada ketinggian media 40 cm dan konsentrasi air tanah 100% sebesar 78,25%. |

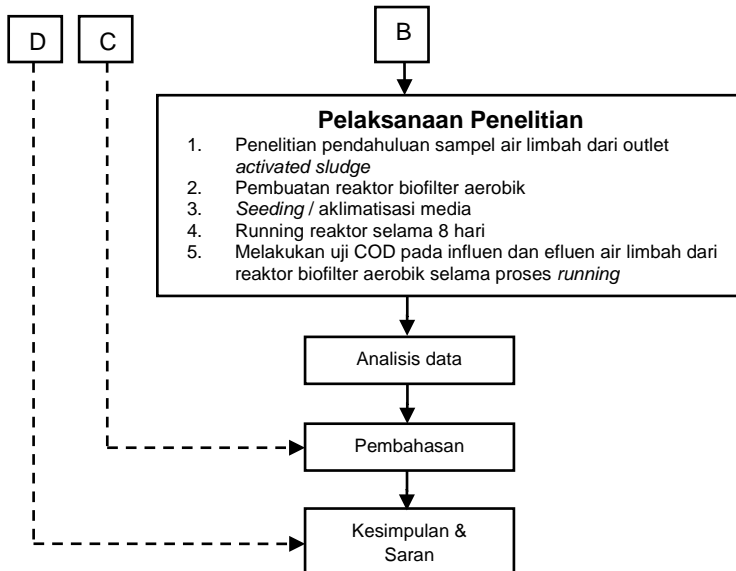
BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian digunakan sebagai acuan dasar dalam melakukan penelitian serta langkah-langkah yang harus diikuti mulai awal hingga akhir. Kerangka penelitian dibuat untuk mempermudah dalam pelaksanaan penelitian agar penelitian ini berjalan secara sistematis dan terarah pada setiap tahapan. Kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.







Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini merupakan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini. Tujuan dari tahapan penelitian ini sendiri yaitu untuk menjelaskan secara rinci mengenai apa yang tertulis dalam kerangka penelitian. Berikut merupakan tahapan penelitian yang akan dilakukan :

a. Judul Penelitian

Judul penelitian ini yaitu analisis penurunan COD pad air limbah non toksik rumah sakit X menggunakan biofilter aerobik yang dilatarbelakangi adanya permasalahan dari kualitas efluen air limbah untuk parameter COD yang belum memenuhi baku mutu. Unit *activated sludge* sebagai unit pengolahan biologis belum bisa berjalan dalam kondisi optimal dikarenakan rasio BOD/COD hanya 0,3. Oleh sebab itu biofilter aerobik akan difungsikan sebagai *post-treatment* dalam penurunan kandungan COD pada air limbah non toksik Rumah Sakit X. Digunakan rangkaian reaktor seri untuk mendapatkan hasil removal COD

yang lebih besar dari perbedaan jumlah *stage* dan jenis media pada biofilter aerobik.

b. Perumusan masalah

Perumusan masalah yang ditinjau dalam penelitian ini yaitu berapa besar tingkat efisiensi penurunan COD pada air limbah non toksik Rumah Sakit X menggunakan biofilter aerobik, bagaimanakah pengaruh jenis media dan jumlah *stage* pada biofilter aerobik dalam penurunan COD menggunakan biofilter aerobik di IPAL Rumah Sakit X, dan berapa dimensi biofilter aerobik jika diterapkan di IPAL Rumah Sakit X Surabaya?

c. Studi Literatur

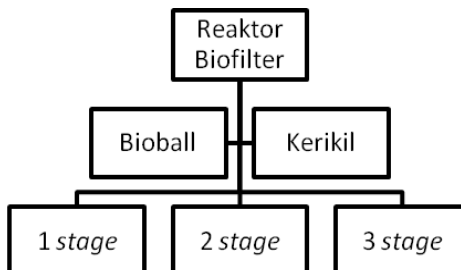
Studi literatur yang digunakan adalah literatur yang memiliki keterkaitan dengan penelitian ini yaitu sumber air limbah rumah sakit, karakteristik air limbah rumah sakit, baku mutu air limbah rumah sakit yang berlaku, proses pengolahan biologis pada air limbah rumah sakit, efisiensi biofilter aerobik, media pada biofilter aerobik, perhitungan dimensi biofilter aerobik dan penelitian sebelumnya terkait pembuatan biofilter aerobik.

d. Variabel Penelitian

- Jenis Media

Jenis media yang digunakan pada biofilter aerobik yaitu kerikil dan *bioball* dengan diameter 25-30 mm. Media *bioball* berdiameter 30mm dengan ketinggian 40 cm didalam reaktor dapat meremoval COD 41-90% (Laksono, 2012). Media kerikil dengan ketinggian 40 cm didalam reaktor dapat meremoval COD 15-93% (Pangestuti, 2014).

Berikut skema variasi penelitian yang tercantum dalam Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Variasi Penelitian

e. Parameter Penelitian

- Pengujian sampel awal untuk menentukan karakteristik air limbah yaitu dengan uji BOD, COD, TSS, N dan P
- Parameter yang diuji tingkat removalnya pada rangkaian reaktor biofilter yaitu COD dengan 5 titik pengambilan sampel pada 2x running selama 7 hari.
- Proses aklimatisasi menggunakan analisis permanganat untuk mengetahui jumlah *biofilm* yang terbentuk pada biofilter. Proses aklimatisasi ini berlangsung \pm 2 minggu dengan analisa pV setiap hari.

f. Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian yaitu:

- Reaktor kaca biofilter 3 buah
- Drum 100 L 1 buah
- Bak 50 L 1 buah
- Ember 1 buah
- Pompa
- Pipa PVC $\frac{1}{2}$ inch
- Selang
- Difuser 3 buah
- Selang infus 5 buah
- Peralatan analisis kadar BOD, COD, TSS, pV, N dan P
- Aksesoris pipa (L dan T)

Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu:

- Efluen air limbah *activated sludge* IPAL Rumah Sakit X
- Kerikil diameter 25-30 mm
- *Bioball* diameter 30 mm
- Reagen dalam analisis BOD
- Reagen dalam analisis COD
- Reagen dalam analisis TSS
- Reagen dalam analisis N
- Reagen dalam analisis pV
- Reagen dalam analisis P

g. Pelaksanaan Penelitian

- Penelitian pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mengukur parameter awal dari sampel efluen unit activated sludge. Hasil pengukuran ini akan didapatkan nilai rasio BOD/COD, TSS, N dan P. Tabel 3.1 menunjukkan metode pengukuran sampel awal air limbah

Tabel 3. 1 Metode Pengukuran Parameter Air Limbah

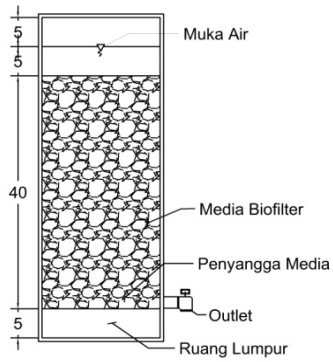
| No | Parameter | Metode | Instrumen | Sumber |
|----|-----------------|------------------|---------------------|--------------------------------|
| 1 | BOD | Winkler | Winkler | APHA 2005 5210 B |
| 2 | COD | Open Refluks | Buret, alat refluks | APHA 2005 5520 B |
| 3 | TSS | Gravimetri | Neraca analitik | SNI 06-6989.3-2004 |
| 4 | NH ₃ | Spektrofotometri | Spektrofotometer | APHA 2005 4500-NH ₃ |
| 5 | P | Spektrofotometri | Spektrofotometer | APHA 2005 4500-P |

- Pembuatan reaktor biofilter

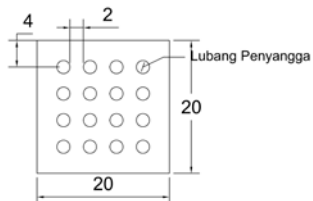
Reaktor biofilter terbuat dari kaca berukuran 6 mm. reaktor ini memiliki dimensi yang sama untuk masing-masing stage yaitu 20 cm x 20 cm x 60 cm. Plat penyangga reaktor terbuat dari kaca berukuran 20 cm x 20 cm dengan jumlah lubang 16 dan memiliki diameter 1 cm. Jarak antar lubang yaitu 2 cm. Ketinggian muka air yaitu 5 cm diatas media. Perhitungan debit, waktu tinggal dan kecepatan aliran dapat dilihat pada lampiran. Gambar 3.3 menunjukkan dimensi reaktor.

- *Aklimatisasi media*

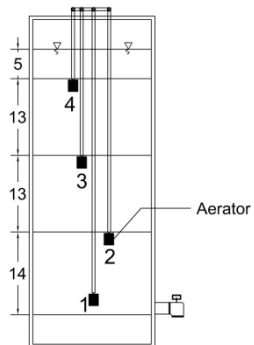
Proses aklimatisasi dilakukan dengan merendam media biofilter kedalam reaktor menggunakan air



Gambar 3. 3 Dimensi Reaktor



Gambar 3. 4 Plat Penyangga



Gambar 3. 5 Letak Aerotor

limbah domestik IPAL Rumah Sakit X secara *continue*.

Air limbah tersebut dibiarkan mengalami kontak langsung dengan udara dan diberi aerasi untuk meningkatkan jumlah oksigen. Aklimatisasi ini bertujuan untuk menumbuhkan mikroorganisme aerob pembentuk *biofilm*. Pertumbuhan *biofilm* diamati setelah kurang lebih 8 sampai 14 hari dengan ditandai permukaan media yang berubah menjadi agak licin bila dipegang (Darmawanti, 2005).

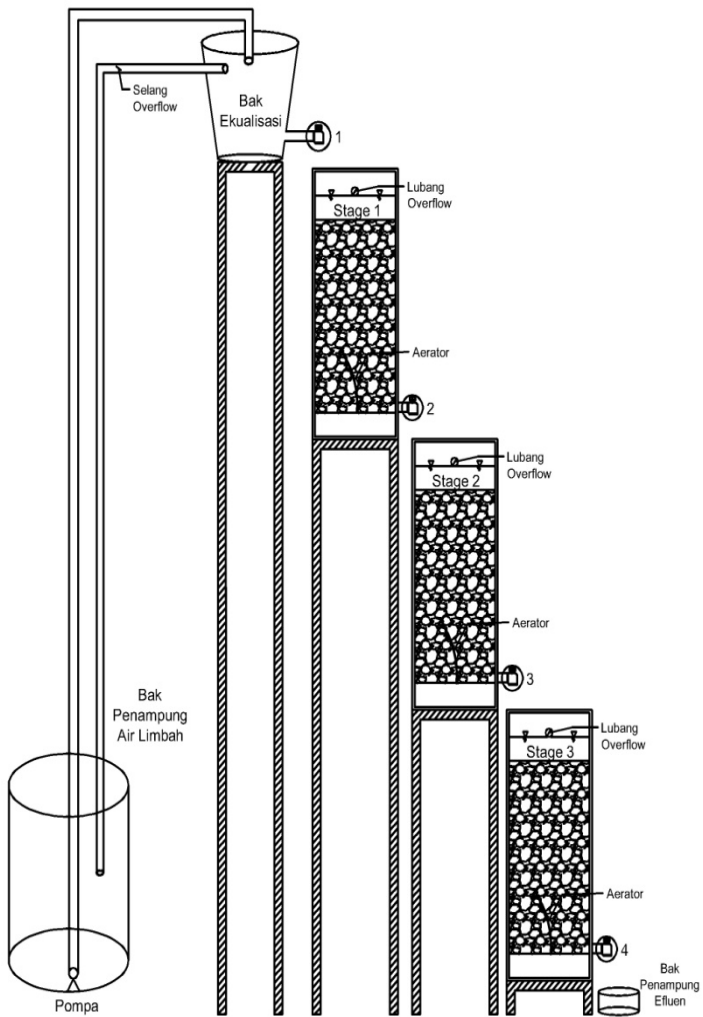
- Pengoperasian reaktor biofilter

Reaktor biofilter aerobik akan dioperasikan secara bertahap dengan 3 *stage*. Masing-masing *stage* memiliki ketinggian media 40 cm. setelah aklimatisasi selama 2 minggu, maka *biofilm* dapat digunakan untuk proses running. Air limbah dari outlet *activated sludge* di pompa untuk dialirkan kedalam bak ekualisasi berkapasitas 30 L dan diatur debitnya.

Selanjutnya dari bak ekualisasi, dialirkan secara kontinyu kedalam reaktor biofilter *stage* 1 dengan waktu tinggal yang telah ditentukan. Air limbah dari reaktor *stage* 1 masuk ke reaktor *stage* 2 dan selanjutnya ke reaktor *stage* 3. Selesai dari reaktor *stage* 3, air limbah akan keluar sebagai efluen. Hasil running ini akan diamati selama 7 hari dan diambil tiap efluen untuk analisis kadar COD. Running II akan dilakukan setelah running I selesai dan media *bioball* yang digunakan pada running I diganti dengan kerikil. Gambar 3.5 menunjukkan skema pengoperasian reaktor beserta titik pengambilan sampelnya.

h. Analisis Parameter

Analisis parameter dilakukan setelah *biofilm* terbentuk dan melalui proses *running* untuk setiap reaktor selama 8 hari. Parameter yang dianalisis yakni COD yang tercantum dalam Tabel 3.2.



Gambar 3. 6 Pengoperasian Reaktor

Tabel 3. 2 Metode Pengukuran Air limbah

| No | Parameter | Metode | Instrumen | Sumber |
|----|-----------|--------------|---------------------|------------------|
| 1 | COD | Open Refluks | Buret, alat refluks | APHA 2005 5520 B |

Sumber : APHA 2005 5520 B

i. Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan dilakukan setelah proses *running* I dan *running* II selesai. Dalam melakukan analisis data dan pembahasan diperlukan literatur yang akurat untuk mendukung hasil penelitian, sehingga dalam membuat pembahasan dapat dipertanggungjawabkan dengan baik. Dalam pembahasan dilakukan penjabaran secara detail dan rinci serta menjawab rumusan masalah yang ada. Hasil penelitian ditampilkan dalam bentuk grafik atau tabel agar memudahkan pemahaman. Setelah penelitian selesai, dilakukan perencanaan desain tipikal biofilter aerobik untuk diterapkan di IPAL rumah sakit.

j. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan disusun berdasarkan hasil analisis data penelitian serta pembahasan. Dalam kesimpulan, bagian tersebut harus menjawab rumusan masalah dan sebanding dengan tujuan yang diharapkan dalam penelitian. Kesimpulan merupakan point-point yang dapat dibuat secara ringkas dari pembahasan yang dibuat. Saran juga diperlukan untuk menyempurnakan penelitian yang dilakukan saat ini dengan membuat rekomendasi apabila dilakukan penelitian yang sejenis dengan penelitian saat ini. Pada umumnya, kesimpulan yang dibuat bersifat sementara.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mengetahui karakteristik awal air limbah dari efluen *activated sludge* Instalasi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit X awal meliputi parameter BOD, COD, TSS, NH_3 dan PO_4 . Nilai masing-masing parameter dari air limbah setelah dianalisa dapat dilihat pada tabel setelah dianalisa dapat dilihat pada tabel 4.1.

Efluen air limbah non toksik Rumah Sakit X diatur dalam Pergub Jatim No. 72 Tahun 2013. Dari hasil analisa laboratorium seperti yang tercantum dalam tabel 4.1, hampir semua parameter belum memenuhi baku mutu. Seharusnya efluen air limbah tersebut sebelum dibuang ke lingkungan sudah harus memenuhi baku mutu yang berlaku agar air limbah tersebut tidak akan mencemari lingkungan.

Baku mutu untuk parameter BOD pada air limbah rumah sakit yaitu 30 mg/L, COD yaitu 80 mg/L, TSS yaitu 30 mg/L, NH_3 yaitu 0,1 mg/L, PO_4 yaitu 0,2 mg/L. Setelah dilakukan analisa selama 6 hari, karakteristik awal air limbah keseluruhan belum memenuhi baku mutu tersebut. Hari puncak dengan efluen yang tinggi yaitu analisa pada hari Selasa. Efluen rata-rata dari hasil analisa pada efluen bak aerasi untuk parameter BOD sebesar 106 mg/L, COD sebesar 183 mg/L, TSS sebesar 97 mg/L, NH_3 sebesar 0,8 mg/L, dan PO_4 sebesar 6,7 mg/L. Pada efluen bak klorinasi, rata-rata efluennya yaitu sebesar 83,6 mg/L untuk parameter BOD, COD sebesar 103 mg/L, TSS sebesar 47,5 mg/L, NH_3 sebesar 0,44 mg/L, dan PO_4 sebesar 6,04 mg/L.

Konsentrasi efluen pada IPAL tersebut tiap harinya bersifat fluktuatif. Hal ini mengakibatkan nantinya beban yang diterima oleh biofilter aerobik juga fluktuatif.

Tabel 4. 1 Hasil Analisa Parameter Awal

| PARAMETER | | TANGGAL | | | | | | BAKU MUTU |
|-----------------------|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| | | 16/03/15 | 17/03/15 | 18/03/15 | 19/03/15 | 20/03/15 | 21/03/15 | |
| BOD | Efluen Aerasi | 139,13 | 151,89 | 93,01 | 106,62 | 114,02 | 31,26 | 30 |
| | Efluen Klorinasi | 126,48 | 101,05 | 67,75 | 91,37 | 40,47 | 76,25 | |
| COD | Efluen Aerasi | 180 | 180 | 160 | 220 | 100 | 260 | 80 |
| | Efluen Klorinasi | 140 | 170 | 90 | 180 | 100 | 120 | |
| TSS | Efluen Aerasi | 75 | 144,46 | 144,66 | 60 | 72 | 88 | 30 |
| | Efluen Klorinasi | 40 | 53,3 | 80 | 24 | 48 | 40 | |
| NH₃ | Efluen Aerasi | 0,71 | 0,68 | 0,01 | 0,94 | 0,57 | 1,93 | 0,1 |
| | Efluen Klorinasi | 0,8 | 0,51 | 0,42 | 0,45 | 0,39 | 0,07 | |
| PO₄ | Efluen Aerasi | 7,19 | 6,13 | 6,03 | 7,39 | 6,94 | 6,44 | 2 |
| | Efluen Klorinasi | 4,88 | 4,83 | 4,52 | 10,36 | 7,14 | 6,69 | |

Keterangan :

 = Tidak memenuhi baku mutu

 = Memenuhi baku mutu

4.2 Persiapan Reaktor Biofilter

Pengolahan air limbah non toksik Instalasi Pengolahan Air Limbah di Rumah Sakit X ini dilakukan dengan proses biofilter aerobik. Pemberian oksigen pada reaktor menggunakan aerator. Pada skala laboratorium dibuat reaktor dengan lebar 20 cm, panjang 20 cm dan tinggi 65 cm. Spesifikasi reaktor dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Spesifikasi Reaktor Biofilter

| Uraian | Keterangan |
|-------------------|------------------|
| Reaktor : | |
| • Bahan | Kaca, tebal 8 mm |
| • Tinggi | 65 cm |
| • Tebal media | 40 cm |
| • Panjang | 20 cm |
| • Lebar | 20 cm |
| • Tinggi muka air | 5 cm |
| • Jumlah aerator | 3 buah |
| • Volume | 18 liter |

Dalam biofilter ini terdapat ruang lumpur sebesar 5 cm dari dasar media. Sebagai penyangga media dibuat penyangga dengan bahan kaca setebal 6 mm yang dilubangi dan di atasnya dilapisi kasa hingga ruang lumpur dapat terbentuk. Outlet dibuat lebih tinggi diatas penyangga bertujuan untuk menghindari penumpukan lumpur sehingga air limbah dapat tetap berjalan tanpa terhambat oleh lumpur yang dihasilkan selama proses biologis. Pemberian oksigen pada reaktor menggunakan aerator sebanyak 1 buah pada masing-masing reaktor. Agar udara yang dihasilkan merata didalam media, digunakan percabangan selang sebanyak 4 buah yang diletakkan pada bagian bawah, tengah dan atas media. Gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan bentuk rangkaian unit reaktor.

4.3 Tahap Seeding dan Aklimatisasi

4.3.1 Seeding

Pada tahap *seeding*, dilakukan secara alami yaitu mengalirkan air limbah dari efluen air limbah bak pengendap IPAL non toksik Rumah Sakit X secara kontinu kedalam reaktor biofilter.



Gambar 4. 1 Reaktor Biofilter



Gambar 4. 2 Rangkaian Reaktor Biofilter Aerobik

Proses seeding diamati setiap hari, apabila pada media terbentuk lapisan lendir yang berwarna hitam kecoklatan-coklatan serta tidak mudah terlepas dari media, maka dapat dipastikan bahwa telah tumbuh mikroorganisme pada media. Jika senyawa organik yang ada mulai pecah oleh aktivitas bakteri dan adanya oksigen terlarut direduksi menjadi nol, maka warna biasanya berubah menjadi semakin gelap. (Metcalf dan Eddy, 2003)

Sistem seeding pada penelitian ini digunakan sistem batch dengan mengatur debit menggunakan selang infus. Mula-mula air limbah dari efluen *activated sludge* dimasukkan kedalam bak penampung sebesar 40 liter, lalu di pompa dengan head 3 m untuk masuk ke bak reservoir untuk disamakan debitnya. Selama proses pembiakan dilakukan pemberian oksigen secara terus menerus dengan menginjeksikan oksigen ke dalam reaktor agar proses oksidasi biologi oleh mikroba dapat berjalan dengan baik. (E, Luluk dan Suprihatin, 2009).

Debit yang dipergunakan yaitu diambil dari waktu tinggal. Waktu tinggal yang digunakan pada reaktor yaitu sebesar 8 jam, dengan volume reaktor sebesar 17 liter. Didapat debit sebesar 2,09 liter perjam setara dengan 0,6 ml per detik. Proses *seeding* ini dilakukan selama 7 hari dengan sistem *batch*.

4.3.2 Aklimatisasi

Proses aklimatisasi dilakukan untuk menghindari matinya bakteri yang telah di-*seeding* sebelumnya karena belum sempat beradaptasi dengan lingkungan baru dan agar didapatkan suatu kultur yang bagus dan mikroorganisme yang mampu beradaptasi dengan air limbah. Proses aklimatisasi pada penelitian ini berlangsung selama 7 (tujuh) hari, yaitu dengan cara mengalirkan air limbah yang berada di reservoir ke dalam reaktor biofilter secara kontinu melewati stage 1, 2 hingga 3 dengan debit yang telah ditetapkan.

Pada proses aklimatisasi ini, resirkulasi limbah dilakukan setiap hari dengan debit 0,6 ml/detik dengan waktu tinggal 8 jam. Akan tetapi, pada kenyataannya sulit mendapatkan debit stabil 1 ml/detik tersebut dikarenakan ketebalan lapisan biofilm pada tiap reaktor berbeda-beda.

a. Hasil Uji Permanganat Reaktor I (Media *Bioball*)

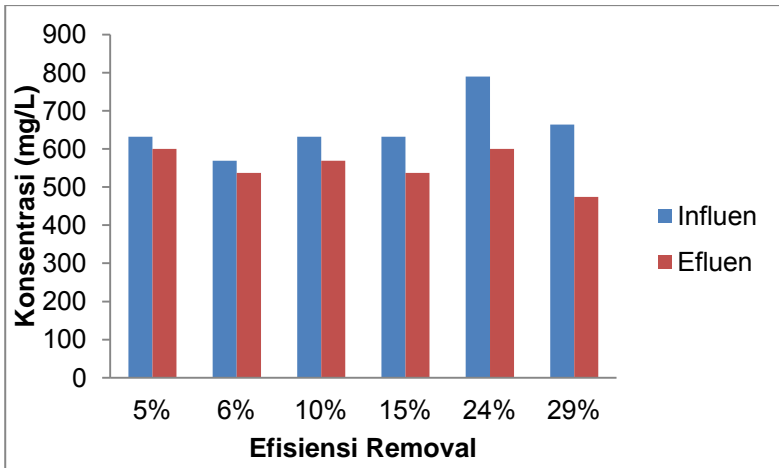
Berikut adalah hasil uji permanganat untuk reaktor biofilter menggunakan media *bioball* pada stage 1

Tabel 4. 3 Hasil Uji Permanganat Reaktor I Stage 1

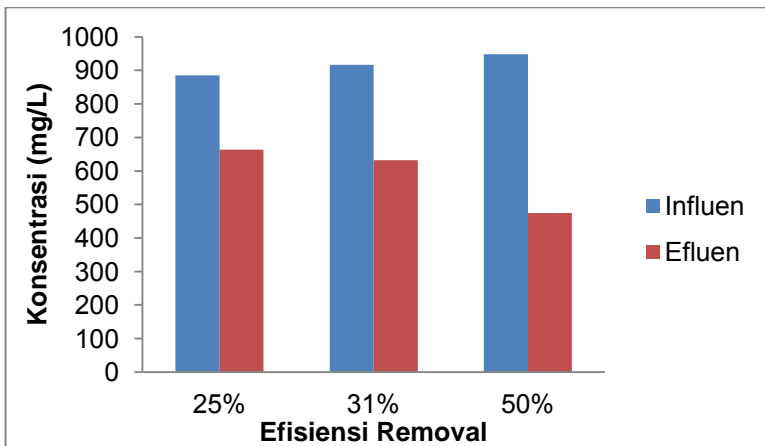
| Tanggal | Nilai Permanganat | | Efisiensi Removal |
|----------|-------------------|---------------|-------------------|
| | Inlet (mg/L) | Outlet (mg/L) | |
| 28/03/15 | 632 | 600,4 | 5% |
| 29/03/15 | 632 | 537,2 | 15% |
| 30/03/15 | 632 | 568,8 | 10% |
| 31/03/15 | 663,6 | 474 | 29% |
| 01/04/15 | 568,8 | 537,2 | 6% |
| 02/04/15 | 790 | 600,4 | 24% |
| 03/04/15 | 916,4 | 632 | 31% |
| 04/04/15 | 948 | 474 | 50% |
| 05/04/15 | 884,8 | 663,6 | 25% |
| 06/04/15 | 1358,8 | 790 | 42% |
| 07/04/15 | 1264 | 474 | 63% |
| 08/04/15 | 1516,8 | 726,8 | 52% |
| 09/04/15 | 1738 | 758,4 | 56% |

Karena konsentrasi inlet yang berbeda-beda setiap harinya, maka dikelompokkan nilai konsentrasi inlet dengan range konsentrasi 300 mg/L.

Dari Gambar 4.3 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 550 mg/L hingga 850 mg/L yang masuk kedalam reaktor biofilter aerobik dengan media *bioball* pada stage 1, didapatkan efisiensi removal 5% hingga 31%, dengan removal rata-rata sebesar 16%. Nilai efisiensi removal tertinggi didapatkan pada konsentrasi air limbah sebesar 663,6 mg/L dengan persen removal nya sebesar 29%.

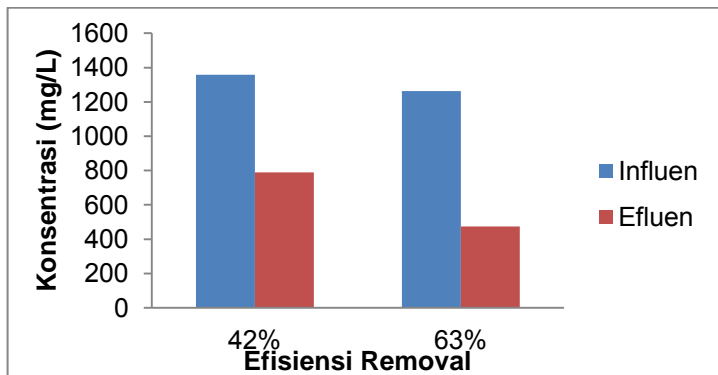


Gambar 4. 3 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor I Stage 1 pada Konsentrasi Influen 550 mg/L sampai 850 mg/L



Gambar 4. 4 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor I Stage 1 pada Konsentrasi Influen 850 mg/L sampai 1150 mg/L

Dari Gambar 4.4 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 850 mg/L hingga 1150 mg/L yang masuk kedalam reaktor biofilter aerobik dengan media *bioball* pada stage 1, didapatkan efisiensi removal 25% hingga 50%, dengan removal rata-rata sebesar 35%. Nilai efisiensi removal tertinggi didapatkan pada konsentrasi air limbah sebesar 948 mg/L dengan persen removal nya sebesar 50%.

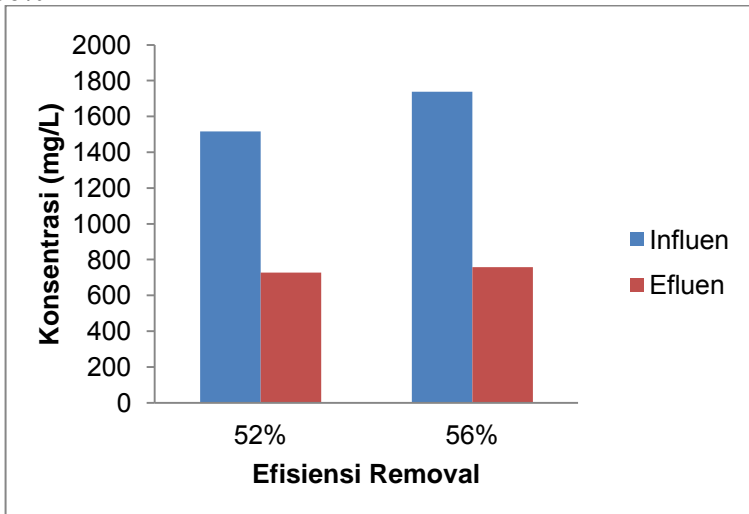


Gambar 4. 5 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor I Stage 1 pada Konsentrasi Influen 1150 mg/L sampai 1450 mg/L

Dari Gambar 4.5 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 1150 mg/L hingga 1450 mg/L yang masuk kedalam reaktor biofilter aerobik dengan media *bioball* pada stage 1, didapatkan efisiensi removal 42% hingga 63%, dengan removal rata-rata sebesar 53%. Nilai efisiensi removal tertinggi didapatkan pada konsentrasi air limbah sebesar 1264 mg/L dengan persen removal nya sebesar 63%.

Dari Gambar 4.6 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 1450 mg/L hingga 1750 mg/L yang masuk kedalam reaktor biofilter aerobik dengan media *bioball* pada stage 1, didapatkan efisiensi removal 52% hingga 56%, dengan Nilai efisiensi removal tertinggi didapatkan pada konsentrasi air

limbah sebesar 1738 mg/L dengan persen removal nya sebesar 56%.



Gambar 4. 6 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor I Stage 1 pada Konsentrasi Influen 1450 mg/L sampai 1750 mg/L

Efisiensi penghilangan yang berbeda-beda dipengaruhi oleh konsentrasi air limbah yang masuk. Semakin meningkat konsentrasi air limbah, maka semakin besar pula efisiensi penghilangan permanganat.

Peningkatan efisiensi ini disebabkan mikroorganisme pada reaktor telah tumbuh dan berkembang biak dan membentuk lapisan *biofilm* yang lebih tebal dari sebelumnya sehingga zat organik yang ada dalam air limbah diuraikan. Adanya penghilangan zat organik yang cukup besar tersebut menunjukkan bahwa mikroorganisme telah tumbuh melekat pada media dan membentuk lapisan *biofilm*. (Said dan Tresnawaty, 2001).

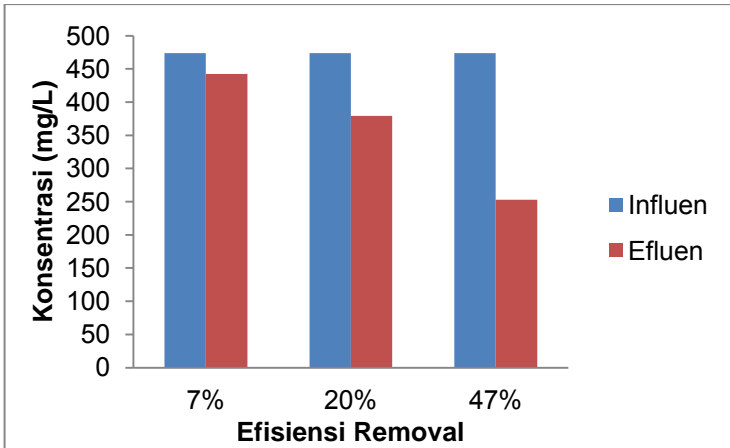
Berikut adalah hasil uji permanganat untuk reaktor biofilter pada stage 2

Tabel 4. 4 Hasil Uji Permanganat Reaktor I Stage 2

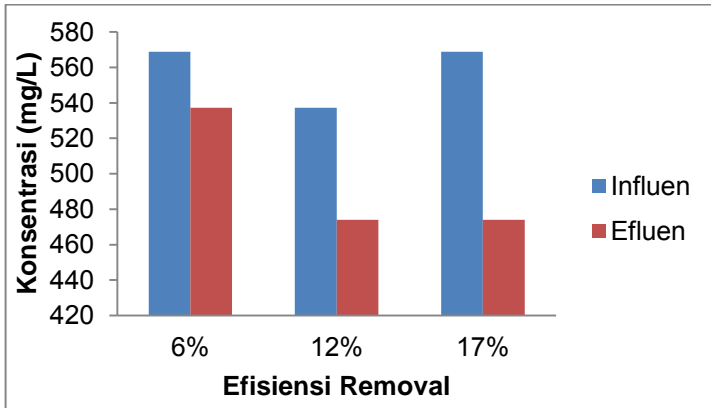
| Tanggal | Nilai Permanganat | | Efisiensi Removal |
|----------|-------------------|---------------|-------------------|
| | Inlet (mg/L) | Outlet (mg/L) | |
| 30/03/15 | 758,4 | 663,6 | 13% |
| 31/03/15 | 568,8 | 474 | 17% |
| 01/04/15 | 474 | 442,4 | 7% |
| 02/04/15 | 537,2 | 474 | 12% |
| 03/04/15 | 568,8 | 537,2 | 6% |
| 04/04/15 | 600,4 | 442,4 | 26% |
| 05/04/15 | 632 | 410,8 | 35% |
| 06/04/15 | 474 | 379,2 | 20% |
| 07/04/15 | 663,6 | 379,2 | 43% |
| 08/04/15 | 790 | 442,4 | 44% |
| 09/04/15 | 474 | 252,8 | 47% |
| 10/04/15 | 726,8 | 410,8 | 43% |
| 11/04/15 | 758,4 | 316 | 58% |

Karena konsentrasi inlet yang berbeda-beda setiap harinya, maka dikelompokkan nilai konsentrasi inlet dengan range konsentrasi 100 mg/L.

Dari Gambar 4.7 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 400 mg/L hingga 500 mg/L yang masuk kedalam reaktor biofilter aerobik dengan media *bioball* pada stage 2, didapatkan efisiensi removal 7% hingga 47%, dengan removal rata-rata sebesar 25%. Nilai efisiensi removal tertinggi didapatkan pada konsentrasi air limbah sebesar 474 mg/L di hari ke 11 dengan persen removal nya sebesar 47%.



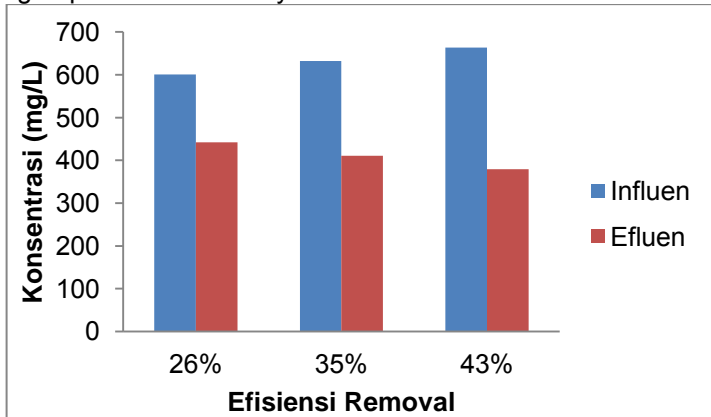
Gambar 4. 7 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor I Stage 2 pada Konsentrasi Influen 400 mg/L sampai 500 mg/L



Gambar 4. 8 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor I Stage 2 pada Konsentrasi Influen 500 mg/L sampai 600 mg/L

Dari Gambar 4.8 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 500 mg/L hingga 600 mg/L yang masuk kedalam reaktor biofilter aerobik dengan media *bioball* pada stage 2, didapatkan efisiensi removal 6% hingga 17%, dengan removal

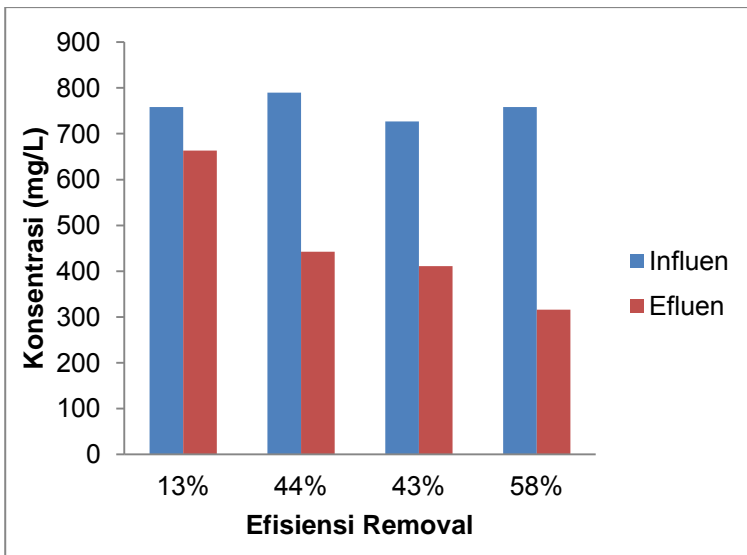
rata-rata sebesar 12%. Nilai efisiensi removal tertinggi didapatkan pada konsentrasi air limbah sebesar 568 mg/L di hari ke 11 dengan persen removal nya sebesar 17%.



Gambar 4. 9 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor I Stage 2 pada Konsentrasi Influen 600 mg/L sampai 700 mg/L

Dari Gambar 4.9 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 600 mg/L hingga 700 mg/L yang masuk kedalam reaktor biofilter aerobik dengan media *bioball* pada stage 2, didapatkan efisiensi removal 26% hingga 43%, dengan removal rata-rata sebesar 35%. Nilai efisiensi removal tertinggi didapatkan pada konsentrasi air limbah sebesar 663,6 mg/L dengan persen removal nya sebesar 43%.

Dari Gambar 4.10 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 700 mg/L hingga 800 mg/L yang masuk kedalam reaktor biofilter aerobik dengan media *bioball* pada stage 2, didapatkan efisiensi removal 13% hingga 58%, dengan removal rata-rata sebesar 40%. Nilai efisiensi removal tertinggi didapatkan pada konsentrasi air limbah sebesar 758,4 mg/L di hari ke 11 dengan persen removal nya sebesar 58%.



Gambar 4. 10 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor I Stage 2 pada Konsentrasi Influen 700 mg/L sampai 800 mg/L

Berikut adalah hasil uji permanganat untuk reaktor biofilter pada stage 3

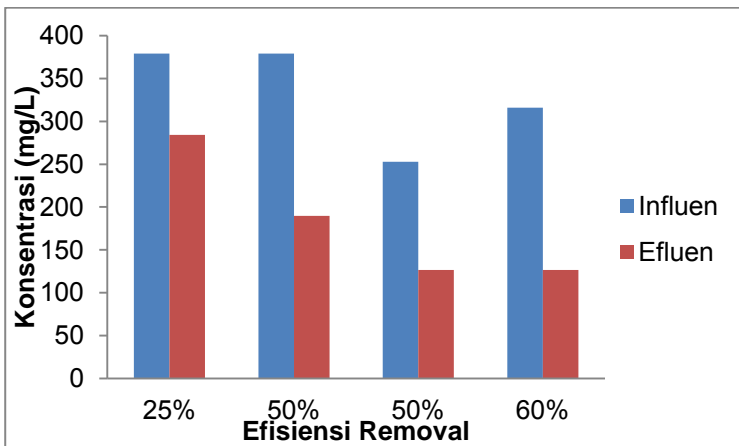
Tabel 4. 5 Hasil Uji Permanganat Reaktor I Stage 3

| Tanggal | Nilai Permanganat | | Efisiensi Removal |
|----------|-------------------|---------------|-------------------|
| | Inlet (mg/L) | Outlet (mg/L) | |
| 28/03/15 | 632 | 663,6 | -5% |
| 29/03/15 | 663,6 | 632 | 5% |
| 30/03/15 | 663,6 | 568,8 | 14% |
| 31/03/15 | 474 | 410,8 | 13% |
| 01/04/15 | 442,4 | 316 | 29% |
| 02/04/15 | 474 | 347,6 | 27% |
| 03/04/15 | 537,2 | 474 | 12% |

Lanjutan Tabel 4.5

| Tanggal | Nilai Permanganat | | Efisiensi Removal |
|----------|-------------------|---------------|-------------------|
| | Inlet (mg/L) | Outlet (mg/L) | |
| 04/04/15 | 442,4 | 410,8 | 7% |
| 05/04/15 | 410,8 | 379,2 | 8% |
| 06/04/15 | 379,2 | 284,4 | 25% |
| 07/04/15 | 379,2 | 189,6 | 50% |
| 08/04/15 | 442,4 | 252,8 | 43% |
| 09/04/15 | 252,8 | 126,4 | 50% |
| 10/04/15 | 410,8 | 189,6 | 54% |
| 11/04/15 | 316 | 126,4 | 60% |

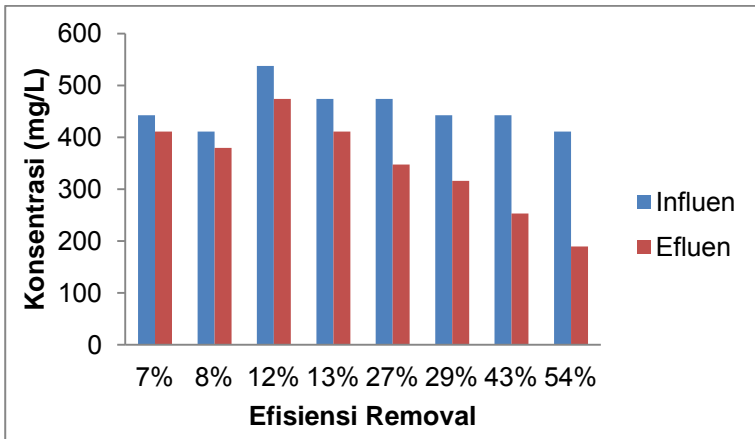
Karena konsentrasi inlet yang berbeda-beda setiap harinya, maka dikelompokkan nilai konsentrasi inlet dengan range konsentrasi 200 mg/L.



Gambar 4. 11 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor I Stage 2 pada Konsentrasi Influen 200 mg/L sampai 400 mg/L

Dari Gambar 4.11 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 200 mg/L hingga 400 mg/L yang masuk kedalam reaktor biofilter aerobik dengan media *bioball* pada stage 3, didapatkan efisiensi removal 25% hingga 60%, dengan removal

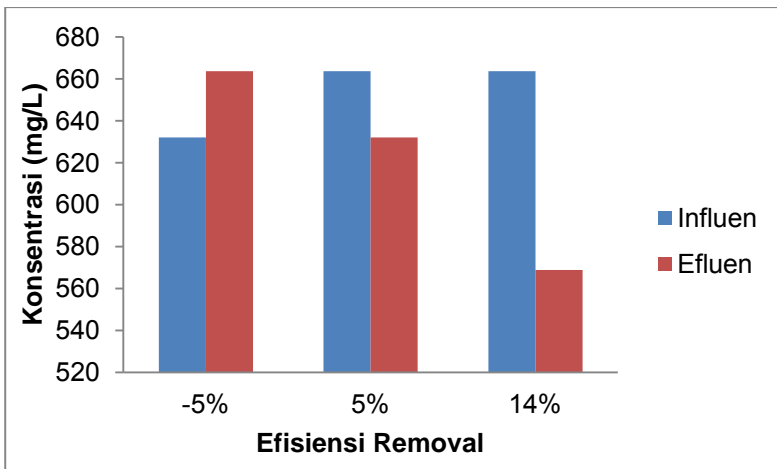
rata-rata sebesar 46%. Nilai efisiensi removal tertinggi didapatkan pada konsentrasi air limbah sebesar 316 mg/L dengan persen removal nya sebesar 60%.



Gambar 4. 12 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor I Stage 3 pada Konsentrasi Influen 400 mg/L sampai 600 mg/L

Dari Gambar 4.12 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 400 mg/L hingga 600 mg/L yang masuk kedalam reaktor biofilter aerobik dengan media *bioball* pada stage 3, didapatkan efisiensi removal 7% hingga 54%, dengan removal rata-rata sebesar 24%. Nilai efisiensi removal tertinggi didapatkan pada konsentrasi air limbah sebesar 410,8 mg/L dengan persen removal nya sebesar 54%.

Dari Gambar 4.13 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 600 mg/L hingga 800 mg/L yang masuk kedalam reaktor biofilter aerobik dengan media *bioball* pada stage 3, didapatkan efisiensi removal -5% hingga 14%, dengan removal rata-rata sebesar 5%. Nilai efisiensi removal tertinggi didapatkan pada konsentrasi air limbah sebesar 663,6 mg/L dengan persen removal nya sebesar 14%.



Gambar 4. 13 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor I Stage 3 pada Konsentrasi Influen 600 mg/L sampai 800 mg/L

b. Nilai Permanganat Reaktor II (Media Kerikil)

Berikut adalah hasil uji permanganat reaktor biofilter menggunakan media kerikil pada stage 1.

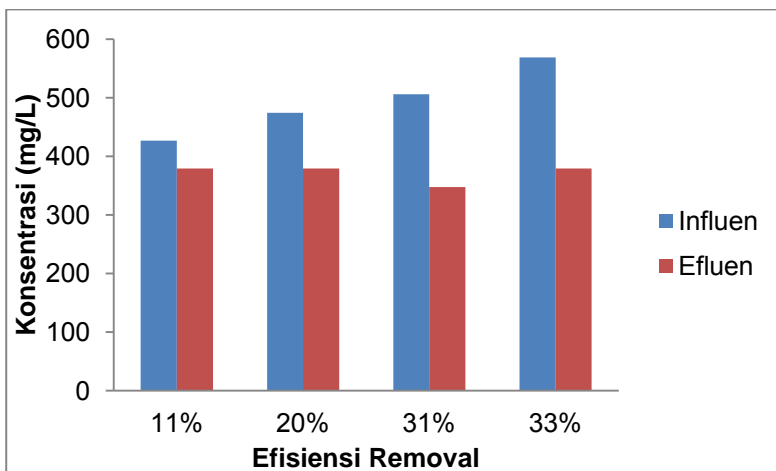
Tabel 4. 6 Hasil Uji Permanganat Reaktor II Stage 1

| Tanggal | Nilai Permanganat | | Efisiensi Removal |
|----------|-------------------|---------------|-------------------|
| | Inlet (mg/L) | Outlet (mg/L) | |
| 07/05/15 | 426,6 | 379,2 | 11% |
| 08/05/15 | 632 | 474 | 25% |
| 09/05/15 | 568,8 | 379,2 | 33% |
| 10/05/15 | 663,6 | 568,8 | 14% |
| 11/05/15 | 758,4 | 474 | 38% |
| 12/05/15 | 884,8 | 316 | 64% |

Lanjutan Tabel 4.6

| Tanggal | Nilai Permanganat | | Efisiensi Removal |
|----------|-------------------|---------------|-------------------|
| | Inlet (mg/L) | Outlet (mg/L) | |
| 13/05/15 | 505,6 | 347,6 | 31% |
| 14/05/15 | 474 | 379,2 | 20% |
| 15/05/15 | 916,4 | 568,8 | 38% |
| 16/05/15 | 948 | 474 | 50% |
| 17/05/15 | 948 | 537,2 | 43% |
| 18/05/15 | 1422 | 790 | 44% |
| 19/05/15 | 1516,8 | 948 | 38% |

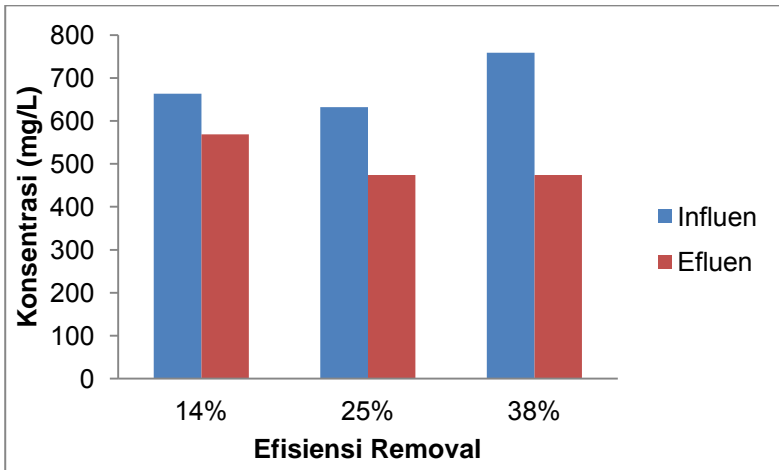
Karena konsentrasi inlet yang berbeda-beda setiap harinya, maka dikelompokkan nilai konsentrasi inlet dengan range konsentrasi 200 mg/L.



Gambar 4. 14 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor II Stage 1 pada Konsentrasi Influen 400 mg/L sampai 600 mg/L

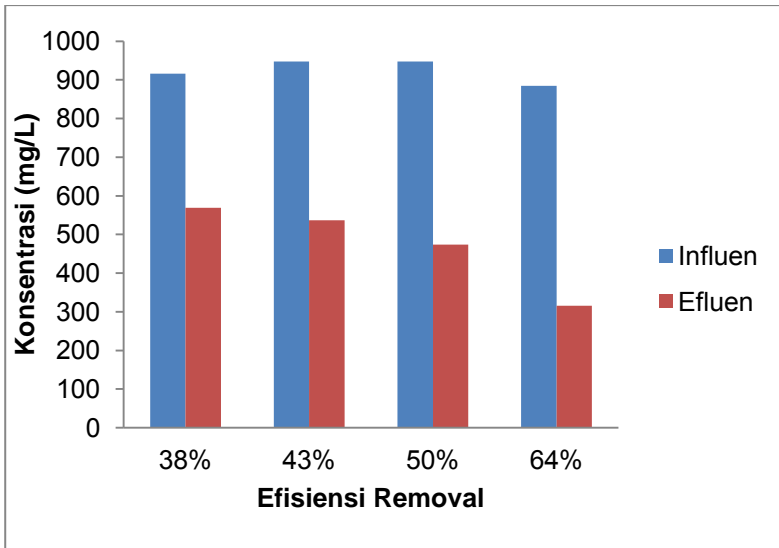
Dari Gambar 4.14 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 400 mg/L hingga 600 mg/L yang masuk kedalam

reaktor biofilter aerobik dengan media kerikil pada stage 1, didapatkan efisiensi removal 11% hingga 33%, dengan removal rata-rata sebesar 24%. Nilai efisiensi removal tertinggi didapatkan pada konsentrasi air limbah sebesar 568,8 mg/L dengan persen removal nya sebesar 33%.



Gambar 4. 15 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor II Stage 1 pada Konsentrasi Influen 600 mg/L sampai 800 mg/L

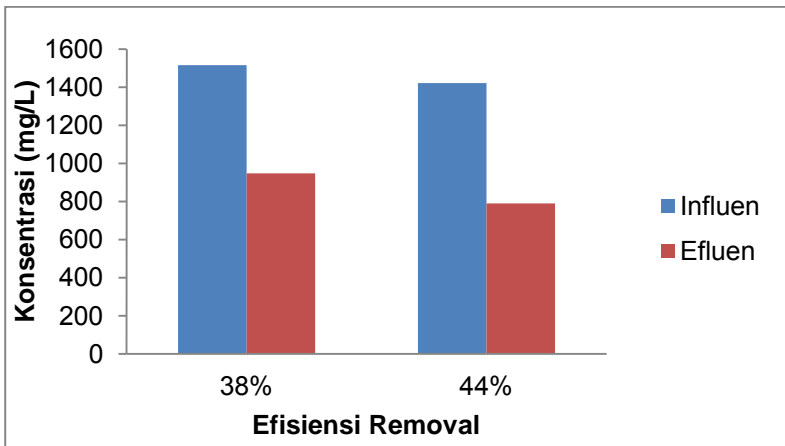
Dari Gambar 4.15 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 600 mg/L hingga 800 mg/L yang masuk kedalam reaktor biofilter aerobik dengan media kerikil pada stage 1, didapatkan efisiensi removal 14% hingga 38%, dengan removal rata-rata sebesar 26%. Nilai efisiensi removal tertinggi didapatkan pada konsentrasi air limbah sebesar 758,4 mg/L dengan persen removal nya sebesar 38%.



Gambar 4. 16 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor II Stage 1 pada Konsentrasi Influen 800 mg/L sampai 1000 mg/L

Dari Gambar 4.16 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 800 mg/L hingga 1000 mg/L yang masuk kedalam reaktor biofilter aerobik dengan media kerikil pada stage 1, didapatkan efisiensi removal 38% hingga 64%, dengan removal rata-rata sebesar 49%. Nilai efisiensi removal tertinggi didapatkan pada konsentrasi air limbah sebesar 884,8 mg/L dengan persen removal nya sebesar 64%.

Dari Gambar 4.17 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 1300 mg/L hingga 1600 mg/L yang masuk kedalam reaktor biofilter aerobik dengan media kerikil pada stage 1, didapatkan efisiensi removal 38% hingga 44%, dengan removal rata-rata sebesar 41%. Nilai efisiensi removal tertinggi didapatkan pada konsentrasi air limbah sebesar 1422 mg/L dengan persen removal nya sebesar 44%.



Gambar 4. 17 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor II Stage 1 pada Konsentrasi Influen 1300 mg/L sampai 1600 mg/L

Berikut adalah hasil uji permanganat reaktor biofilter menggunakan media kerikil pada stage 2

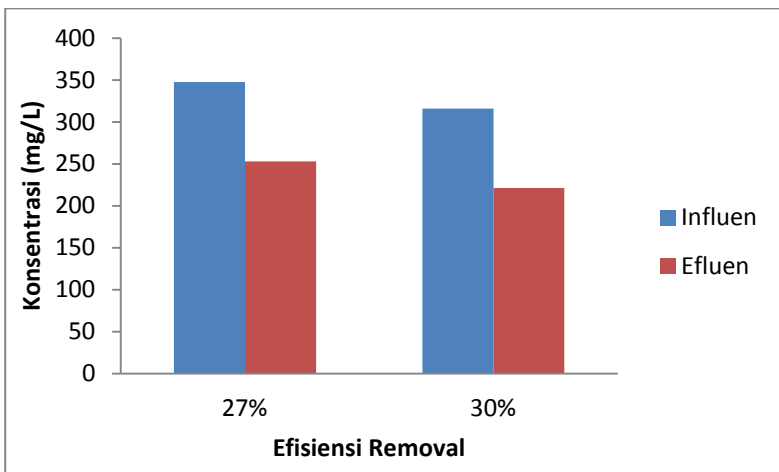
Tabel 4. 7 Hasil Uji Permanganat Reaktor II Stage 2

| Tanggal | Nilai Permanganat | | Efisiensi Removal |
|----------|-------------------|---------------|-------------------|
| | Inlet (mg/L) | Outlet (mg/L) | |
| 07/05/15 | 379,2 | 347,6 | 8% |
| 08/05/15 | 474 | 442,4 | 7% |
| 09/05/15 | 379,2 | 316 | 17% |
| 10/05/15 | 568,8 | 410,8 | 28% |
| 11/05/15 | 474 | 347,6 | 27% |
| 12/05/15 | 316 | 221,2 | 30% |
| 13/05/15 | 347,6 | 252,8 | 27% |

Lanjutan Tabel 4.7

| Tanggal | Nilai Permanganat | | Efisiensi Removal |
|----------|-------------------|---------------|-------------------|
| | Inlet (mg/L) | Outlet (mg/L) | |
| 14/05/15 | 379,2 | 347,6 | 8% |
| 15/05/15 | 568,8 | 474 | 17% |
| 16/05/15 | 474 | 379,2 | 20% |
| 17/05/15 | 537,2 | 379,2 | 29% |
| 18/05/15 | 790 | 632 | 20% |
| 19/05/15 | 948 | 379,2 | 60% |

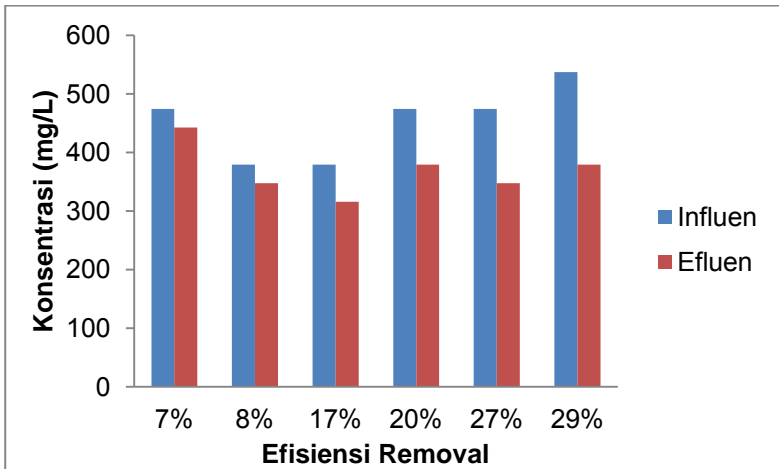
Karena konsentrasi inlet yang berbeda-beda setiap harinya, maka dikelompokkan nilai konsentrasi inlet dengan range konsentrasi 200 mg/L.



Gambar 4. 18 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor II Stage 2 pada Konsentrasi Influen 150 mg/L sampai 350 mg/L

Dari Gambar 4.18 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 150 mg/L hingga 350 mg/L yang masuk kedalam reaktor biofilter aerobik dengan media kerikil pada stage 2, didapatkan efisiensi removal 27% hingga 30%, dengan removal

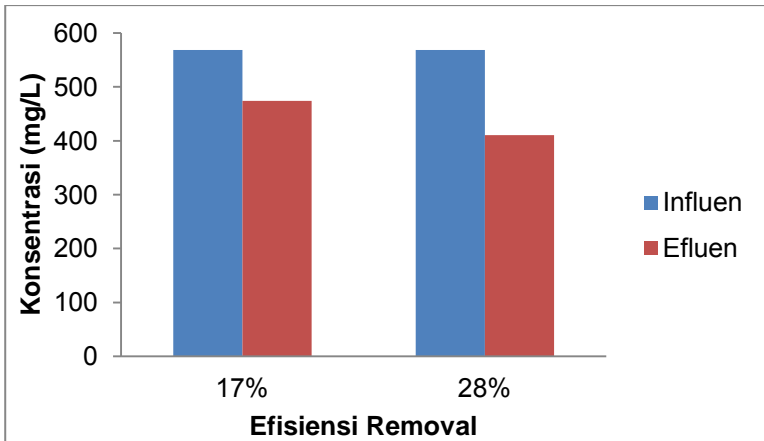
rata-rata sebesar 29%. Nilai efisiensi removal tertinggi didapatkan pada konsentrasi air limbah sebesar 316 mg/L dengan persen removal nya sebesar 30%.



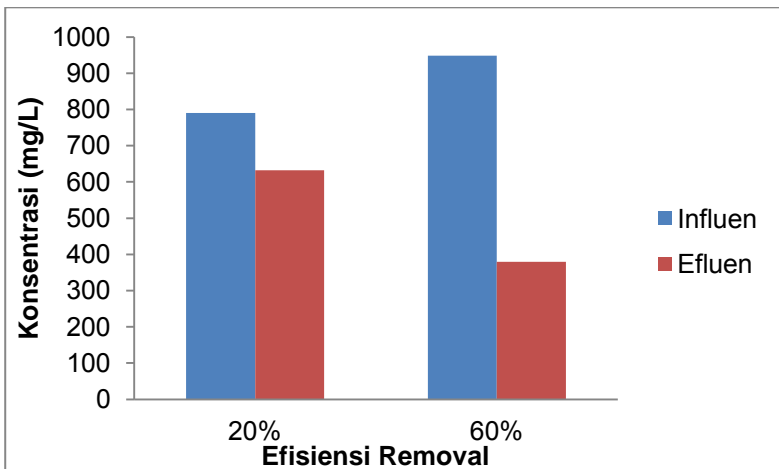
Gambar 4. 19 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor II Stage 2 pada Konsentrasi Influen 350 mg/L sampai 550 mg/L

Dari Gambar 4.19 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 350 mg/L hingga 550 mg/L yang masuk kedalam reaktor biofilter aerobik dengan media kerikil pada stage 2, didapatkan efisiensi removal 7% hingga 29%, dengan removal rata-rata sebesar 18%. Nilai efisiensi removal tertinggi didapatkan pada konsentrasi air limbah sebesar 537,2 mg/L dengan persen removal nya sebesar 29%.

Dari Gambar 4.20 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 550 mg/L hingga 750 mg/L yang masuk kedalam reaktor biofilter aerobik dengan media kerikil pada stage 2, didapatkan efisiensi removal 17% hingga 28%, dengan removal rata-rata sebesar 23%. Nilai efisiensi removal tertinggi didapatkan pada konsentrasi air limbah sebesar 568,8 mg/L dengan persen removal nya sebesar 28%.



Gambar 4. 20 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor II Stage 2 pada Konsentrasi Influen 550 mg/L sampai 750 mg/L



Gambar 4. 21 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor II Stage 2 pada Konsentrasi Influen 750 mg/L sampai 950 mg/L

Dari Gambar 4.21 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 750 mg/L hingga 950 mg/L yang masuk kedalam

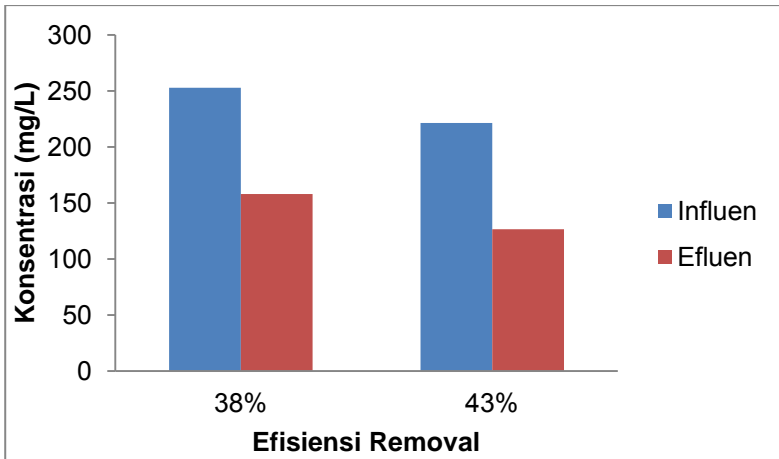
reaktor biofilter aerobik dengan media kerikil pada stage 2, didapatkan efisiensi removal 20% hingga 60%, dengan removal rata-rata sebesar 40%. Nilai efisiensi removal tertinggi didapatkan pada konsentrasi air limbah sebesar 948 mg/L dengan persen removal nya sebesar 60%.

Berikut adalah hasil uji permanganat reaktor biofilter menggunakan media kerikil pada stage 3

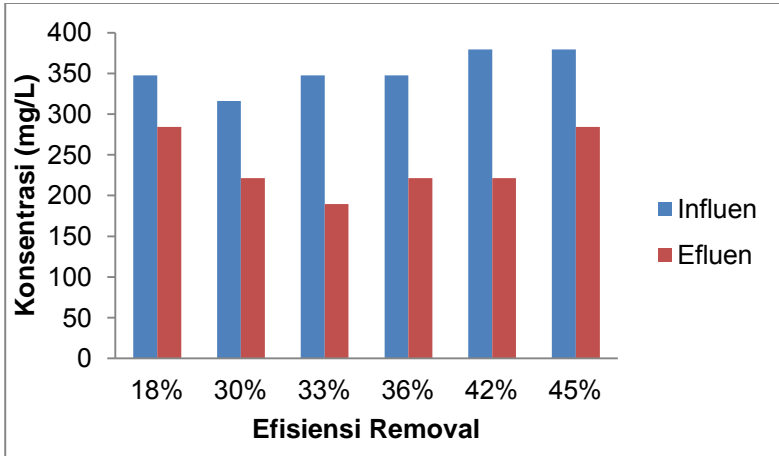
Tabel 4. 8 Hasil Uji Permanganat Reaktor II Stage 3

| Tanggal | Nilai Permanganat | | Efisiensi Removal |
|----------|-------------------|---------------|-------------------|
| | Inlet (mg/L) | Outlet (mg/L) | |
| 07/05/15 | 347,6 | 284,4 | 18% |
| 08/05/15 | 442,4 | 379,2 | 14% |
| 09/05/15 | 316 | 221,2 | 30% |
| 10/05/15 | 410,8 | 316 | 23% |
| 11/05/15 | 347,6 | 189,6 | 33% |
| 12/05/15 | 221,2 | 126,4 | 43% |
| 13/05/15 | 252,8 | 158 | 38% |
| 14/05/15 | 347,6 | 158 | 55% |
| 15/05/15 | 474 | 316 | 33% |
| 16/05/15 | 379,2 | 284,4 | 45% |
| 18/05/15 | 632 | 316 | 50% |
| 19/05/15 | 379,2 | 221,2 | 42% |

Karena konsentrasi inlet yang berbeda-beda setiap harinya, maka dikelompokkan nilai konsentrasi inlet dengan range konsentrasi 100 mg/L.



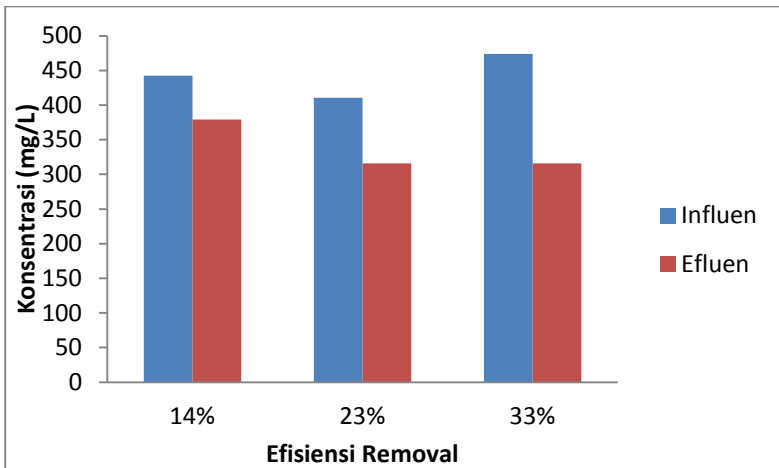
Gambar 4. 22 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor II Stage 3 pada Konsentrasi Influen 200 mg/L sampai 300 mg/L



Gambar 4. 23 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor II Stage 3 pada Konsentrasi Influen 300 mg/L sampai 400 mg/L

Dari Gambar 4.22 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 200 mg/L hingga 300 mg/L yang masuk kedalam reaktor biofilter aerobik dengan media kerikil pada stage 3, didapatkan efisiensi removal 38% hingga 43%, dengan removal rata-rata sebesar 40%. Nilai efisiensi removal tertinggi didapatkan pada konsentrasi air limbah sebesar 221,2 mg/L dengan persen removal nya sebesar 43%.

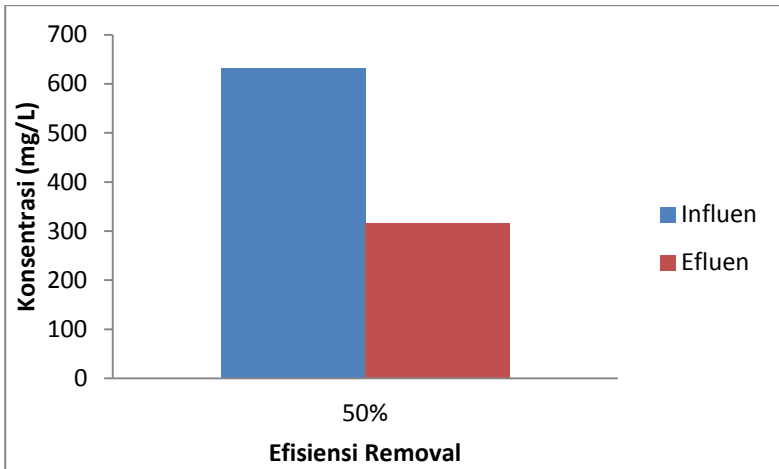
Dari Gambar 4.23 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 300 mg/L hingga 400 mg/L yang masuk kedalam reaktor biofilter aerobik dengan media kerikil pada stage 3, didapatkan efisiensi removal 18% hingga 45%, dengan removal rata-rata sebesar 34%. Nilai efisiensi removal tertinggi didapatkan pada konsentrasi air limbah sebesar 379,2 mg/L dengan persen removal nya sebesar 34%.



Gambar 4. 24 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor II Stage 3 pada Konsentrasi Influen 400 mg/L sampai 500 mg/L

Dari Gambar 4.24 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 400 mg/L hingga 500 mg/L yang masuk kedalam

reaktor biofilter aerobik dengan media kerikil pada stage 3, didapatkan efisiensi removal 14% hingga 33%, dengan removal rata-rata sebesar 24%. Nilai efisiensi removal tertinggi didapatkan pada konsentrasi air limbah sebesar 474 mg/L dengan persen removal nya sebesar 33%.



Gambar 4. 25 Efisiensi Removal Permanganat Reaktor II Stage 3 pada Konsentrasi Influen 600 mg/L sampai 700 mg/L

Dari Gambar 4.25 diketahui bahwa dengan konsentrasi inlet air limbah 600 mg/L hingga 700 mg/L yang masuk kedalam reaktor biofilter aerobik dengan media kerikil pada stage 3, didapatkan efisiensi removal 50% pada konsentrasi air limbah sebesar 632 mg/L.

Setelah dilakukan analisis data, maka dilakukan tabulasi data dan pembahasan untuk mempermudah pembacaan hasil penelitian. Tabulasi data memuat hasil efisiensi removal permanganat menurut range konsentrasi pada reaktor biofilter aerobik media bioball dan reaktor biofilter aerobik media kerikil dari stage 1 hingga stage 3.

Tabel 4. 9 Hasil Tabulasi Reaktor I Biofilter Aerobik Media Bioball

| | Range Konsentrasi (mg/L) | Efisiensi Rata- rata |
|----------------------|---|---------------------------------|
| Biofilter Stage 1 | 550-850 | 15% |
| | 850-1150 | 35% |
| | 1150-1450 | 35% |
| | 1450-1750 | 54% |
| Biofilter Stage 2 | 400-500 | 25% |
| | 500-600 | 12% |
| | 600-700 | 35% |
| | 700-800 | 40% |
| Biofilter Stage 3 | 200-400 | 46% |
| | 400-600 | 24% |
| | 600-800 | 5% |

Sumber : Hasil analisis

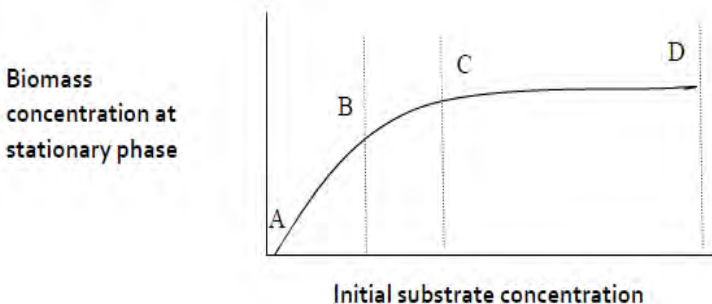
Pengukuran angka permanganat erat kaitannya dengan laju pertumbuhan biofilm. Jumlah biofilm yang melekat pada media dapat diukur melalui konsentrasi zat organik. Jika biofilm sudah optimum, maka nilai permanganat akan cenderung konstan. Pada penelitian ini tidak dilakukan seeding dan aklimatisasi hingga terbentuk biofilm yang stabil, karena running akan dilakukan ketika biofilm pertama kali terbentuk. Jadi, hasil removal permanganat masih tidak bisa dijadikan acuan untuk menentukan pada konsentrasi berapa biofilm dapat berjalan optimum.

Dari hasil tabulasi pada tabel 4.9, efisiensi rata-rata dari removal permanganat untuk tiap range konsentrasi berbeda-beda. Pada biofilter stage 1 dengan range konsentrasi sebesar 300 mg/L, didapatkan efisiensi removal terbesar yaitu 54%. Removal yang tinggi tersebut menandakan bahwa biofilter aerobik stage 1 mampu bekerja paling baik pada range konsentrasi 1450-1750 mg/L.

Pada biofilter stage 2 dengan range konsentrasi sebesar 100 mg/L, didapatkan efisiensi removal permanganat terbesar yaitu 40%. Removal yang tinggi tersebut menandakan bahwa biofilter aerobik pada stage 2 mampu bekerja paling baik pada range konsentrasi 700-800 mg/L.

Pada biofilter stage 3 dengan range konsentrasi sebesar 200 mg/L, didapatkan efisiensi removal permanganat terbesar yaitu 46%. Removal yang tinggi tersebut menandakan bahwa biofilter aerobik pada stage 2 mampu bekerja paling baik pada range konsentrasi 200-400 mg/L.

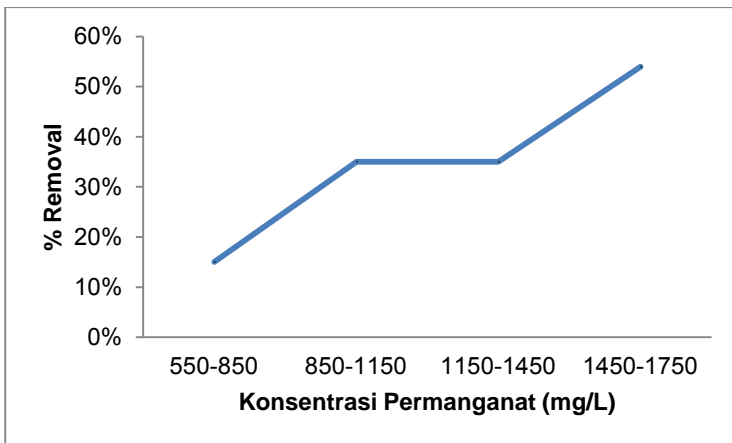
Hasil yang berbeda-beda pada tiap stage menunjukkan bahwa masing-masing stage biofilter tersebut mempunyai kemampuan removal berbeda dalam penurunan permanganat. Dalam air limbah, angka permanganat digunakan untuk mengetahui jumlah konsentrasi zat organik. Suatu kultur mikroorganisme bisa dikatakan steady state ketika pertumbuhan mikroorganisme tersebut mendekati konstan. Gambar 4.26 Menunjukkan kurva steady state pertumbuhan mikroorganisme.



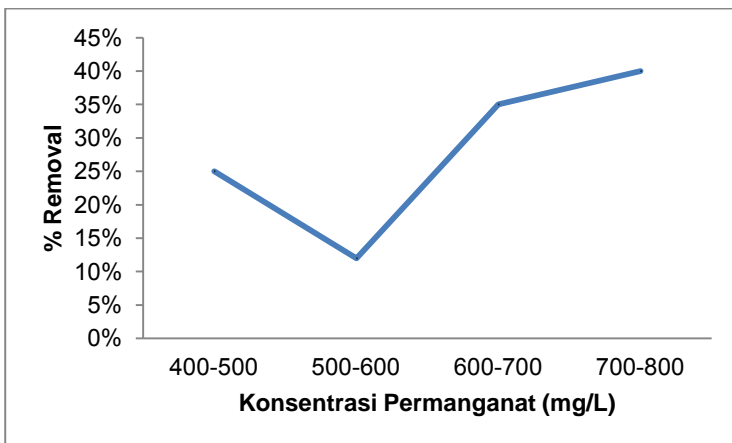
Gambar 4. 26 Kurva Steady State

(Sumber : Panikov, 1991)

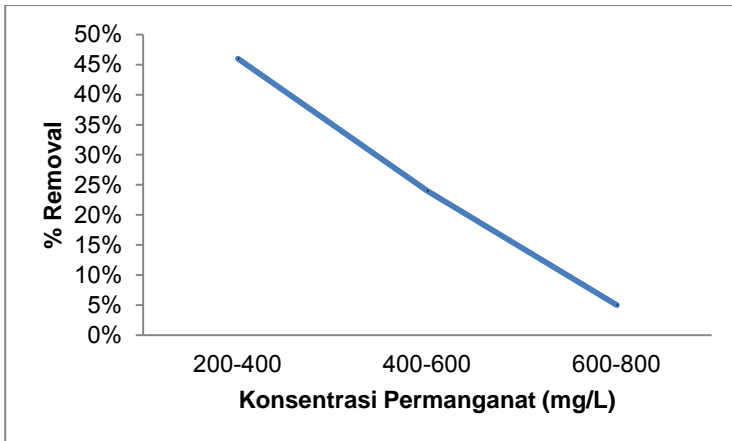
Dari gambar 4.26 Dapat diketahui bahwa pada saat fase steady state bakteri, pertumbuhan relatif konstan. Dengan menggunakan uji permanganat pada efluen air limbah tiap stage, removal yang dihasilkan harus relatif konstan dan kurang dari 5%.



Gambar 4. 27 Grafik Removal Permanganat Biofilter Aerobik Media Bioball Stage 1



Gambar 4.28 Grafik Removal Permanganat Biofilter Aerobik Media Bioball Stage 2



Gambar 4.29 Grafik Removal Permanganat Biofilter Aerobik Media Bioball Stage 3

Dari Gambar diatas dapat diketahui bahwa kurva removal permanganat pada biofilter stage 1, 2 dan 3 tidak konstan sehingga belum bisa dikatakan steady state pada proses seeding dan aklimatisasinya.

Tabel 4. 10 Hasil Tabulasi Reaktor Biofilter Aerobik Media Kerikil

| | Range Konsentrasi (mg/L) | Efisiensi Rata-rata |
|-------------------|--------------------------|---------------------|
| Biofilter Stage 1 | 400-600 | 24% |
| | 600-800 | 26% |
| | 800-1000 | 49% |
| | 1300-1600 | 41% |
| Biofilter Stage 2 | 150-350 | 29% |
| | 350-550 | 18% |
| | 550-750 | 23% |
| | 750-950 | 40% |

| | Range Konsentrasi (mg/L) | Efisiensi Rata- rata |
|----------------------|---|-------------------------------------|
| Biofilter Stage 3 | 300-400 | 34% |
| | 400-500 | 24% |
| | 600-700 | 50% |

Pengukuran angka permanganat erat kaitannya dengan laju pertumbuhan biofilm. Jumlah biofilm yang melekat pada media dapat diukur melalui konsentrasi zat organik. Jika biofilm sudah optimum, maka nilai permanganat akan cenderung konstan. Pada penelitian ini tidak dilakukan seeding dan aklimatisasi hingga terbentuk biofilm yang stabil, karena running akan dilakukan ketika biofilm pertama kali terbentuk.

Dari hasil tabulasi pada tabel 4.10, efisiensi rata-rata dari removal permanganat untuk tiap range konsentrasi berbeda-beda. Pada biofilter stage 1 dengan range konsentrasi sebesar 200 mg/L, didapatkan efisiensi removal terbesar yaitu 49%. Removal yang tinggi tersebut menandakan bahwa biofilter aerobik stage 1 mampu bekerja paling baik pada range konsentrasi 800-1000 mg/L.

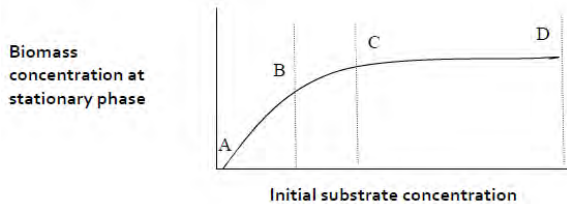
Pada biofilter stage 2 dengan range konsentrasi sebesar 200 mg/L, didapatkan efisiensi removal permanganat terbesar yaitu 40%. Removal yang tinggi tersebut menandakan bahwa biofilter aerobik pada stage 2 mampu bekerja paling baik pada range konsentrasi 750-950 mg/L.

Pada biofilter stage 3 dengan range konsentrasi sebesar 100 mg/L, didapatkan efisiensi removal permanganat terbesar yaitu 50%. Removal yang tinggi tersebut menandakan bahwa biofilter aerobik pada stage 2 mampu bekerja paling baik pada range konsentrasi 600-700 mg/L.

Perbedaan removal permanganat pada masing-masing reaktor kemungkinan pada saat konsentrasi yang masuk besar di hari awal, akibatnya biofilm belum banyak terbentuk sehingga kurang mendegradasi zat organik yang terdapat dalam air limbah..

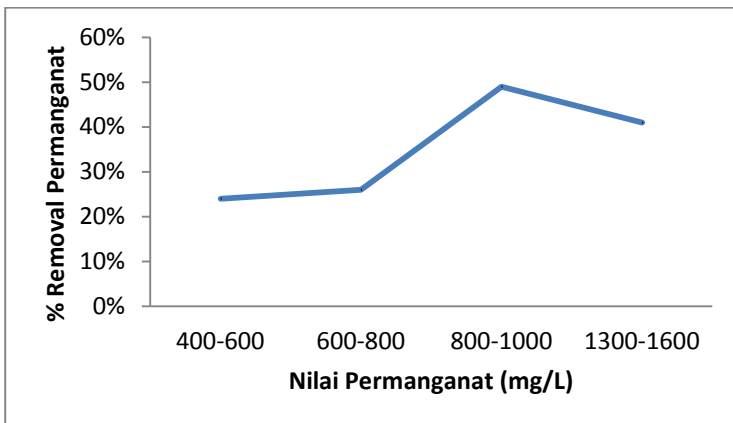
Hasil yang berbeda-beda pada tiap stage menunjukkan bahwa masing-masing stage biofilter tersebut mempunyai

kemampuan removal berbeda dalam penurunan permanganat. Dalam air limbah, angka permanganat digunakan untuk mengetahui jumlah konsentrasi zat organik. Suatu kultur mikroorganisme bisa dikatakan steady state ketika pertumbuhan mikroorganisme tersebut mendekati konstan. Gambar 4.28 Menunjukkan kurva steady state pertumbuhan mikroorganisme.

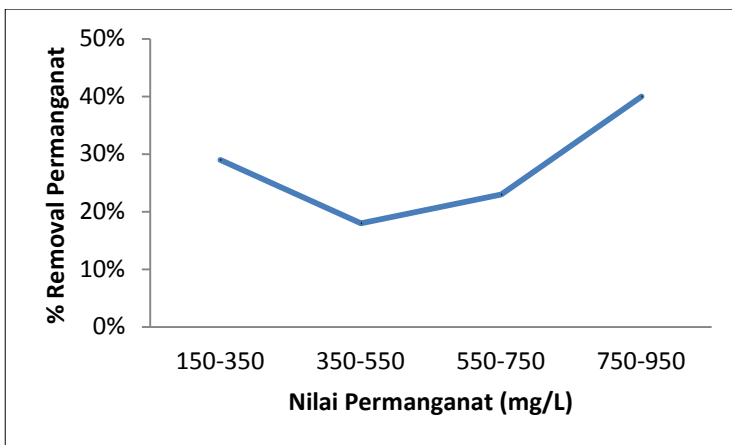


Gambar 4. 28 Kurva Steady State
(Sumber : Panikov, 1991)

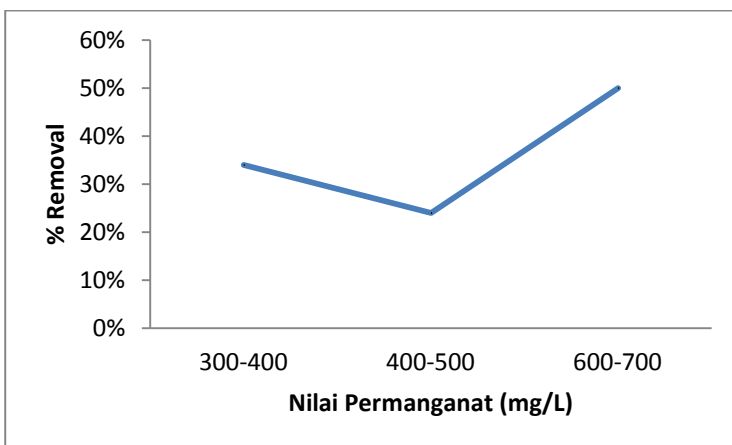
Dari gambar 4.28 Dapat diketahui bahwa pada saat fase steady state bakteri, pertumbuhan relatif konstan. Dengan menggunakan uji permanganat pada efluen air limbah tiap stage, removal yang dihasilkan harus relatif konstan dan kurang dari 5%.



Gambar 4. 29 Grafik Removal Permanganat Biofilter Aerobik Media Kerikil Stage 1



Gambar 4. 30 Grafik Removal Permanganat Biofilter Aerobik Media Kerikil Stage 2



Gambar 4. 31 Grafik Removal Permanganat Biofilter Aerobik Media Kerikil Stage 3

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa kurva removal permanganat pada biofilter stage 1, 2 dan 3 tidak konstan sehingga belum bisa dikatakan steady state pada proses seeding dan aklimisasinya.

4.4Running Reaktor I (Media *Bioball*)

Tahap running reaktor dilakukan setelah tahap *seeding* dan aklimatisasi berlangsung. Pengoperasian reaktor dilakukan secara kontinu dengan debit 0,6 ml/s selama 8 hari dengan waktu tinggal 8 jam. Setiap 8 jam sekali dilakukan sampling pada efluen biofilter berturut-turut dari stage 1, stage 2 hingga stage 3. Parameter uji untuk analisis yaitu COD. Teknik pendekatan konvensional yang biasa digunakan untuk pengukuran biomassa adalah dengan mengukur partikulat *Chemical Oxygen Demand* (COD) (Ekama *et al.*, 1986 dalam Henze, 1995).

Pada penelitian ini, media *bioball* digunakan sebagai filter dalam air limbah non toksik rumah sakit dengan memanfaatkan *biofilm* yang terbentuk dari proses seeding dan aklimatisasi. Influen akan melakukan kontak dengan *bioball* sehingga terjadi proses biokimia, akibatnya bahan organik yang terdapat dalam limbah cair dapat diturunkan kandungannya. (Metcalf dan Eddy, 2003).

Berikut data uji COD dari biofilter aerobik untuk masing-masing stage :

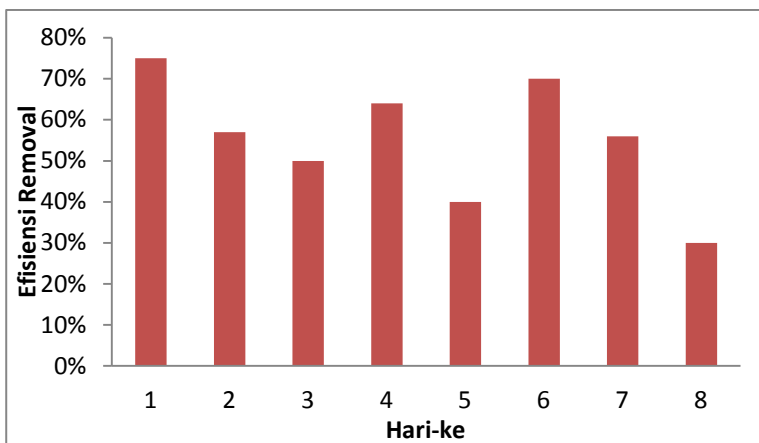
4.4.1 Biofilter I Stage 1

Tabel 4. 11 Hasil Uji COD Reaktor I Stage 1 dan Removalnya

| Tanggal | Inlet (mg/L) | Outlet (mg/L) | Efisiensi Removal |
|----------|-----------------|------------------|----------------------|
| 14/05/15 | 240 | 60 | 75% |
| 15/05/15 | 280 | 120 | 57% |
| 16/05/15 | 240 | 120 | 50% |
| 17/05/15 | 220 | 80 | 64% |
| 18/05/15 | 200 | 120 | 40% |
| 19/05/15 | 200 | 60 | 70% |

| Tanggal | Inlet (mg/L) | Outlet (mg/L) | Efisiensi Removal |
|----------|-----------------|------------------|----------------------|
| 20/05/15 | 180 | 80 | 56% |
| 21/05/15 | 200 | 140 | 30% |

Dari hasil analisa seperti yang terdapat pada Tabel 4.11 dan diplotkan pada Gambar 4.26, Influen pada biofilter stage 1 sebesar 180 mg/L hingga 280 mg/L. Pengolahan data antara COD influen dan efluen menghasilkan data yang paling utama yaitu removal COD yang merupakan kemampuan media *bioball* dalam mengolah air limbah efluen *activated sludge* IPAL Rumah Sakit X.



Gambar 4. 32 Efisiensi Removal COD pada Reaktor I Stage 1

Kemampuan media *bioball* dalam mengurangi konsentrasi COD yaitu sebesar 30% hingga 75%. Removal tertinggi didapatkan pada hari ke-1 dengan konsentrasi influen sebesar 240 mg/L, sedangkan removal terendah didapatkan pada hari ke-8 dengan konsentrasi influen sebesar 200 mg/L. efisiensi removal selama 8 hari running dapat dilihat pada Gambar 4.32 dengan removal rata-rata yaitu 55% dengan waktu tinggal 8 jam.

Pada grafik dalam Gambar 4.32, dapat dilihat bahwa air limbah yang masuk ke dalam baku mutu menurut Pergub Jatim No. 72 Tahun 2013, dengan baku mutu COD dibawah 80 mg/L terjadi pada hari ke-1, 4, 6 dan 7. Pada hari ke-2, 3, 5 dan 8 terjadi kenaikan hingga melebihi baku mutu sehingga dibutuhkan pengolahan lanjutan pada biofilter stage 2.

4.4.2 Biofilter I Stage 2

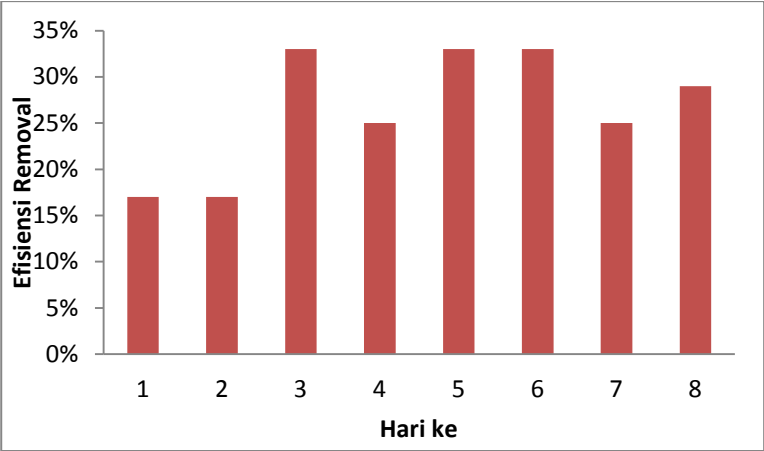
Tabel 4. 12 Hasil Uji COD Reaktor I Stage 2 dan Removalnya

| Tanggal | Inlet (mg/L) | Outlet (mg/L) | Efisiensi Removal |
|----------|-----------------|------------------|----------------------|
| 14/05/15 | 60 | 50 | 17% |
| 15/05/15 | 120 | 100 | 17% |
| 16/05/15 | 120 | 80 | 33% |
| 17/05/15 | 80 | 60 | 25% |
| 18/05/15 | 120 | 80 | 33% |
| 19/05/15 | 60 | 40 | 33% |
| 20/05/15 | 80 | 60 | 25% |
| 21/05/15 | 140 | 100 | 29% |

Dari tabel 4.12 dapat dilihat bahwa nilai COD efluen biofilter setiap harinya bersifat fluktuatif. Pada hari ke-1 dan ke-2 removal COD nya hanya 17%. Removal tertinggi dari reaktor I stage 2 ini yaitu pada hari ke-3, ke-5 dan ke-6 yaitu sebesar 33%. Pada hari ke-6 removalnya turun menjadi 25% dan naik lagi pada hari ke-7 sebesar 29%.

Kemampuan reaktor I stage 2 ini dalam menurunkan konsentrasi COD yaitu sebesar 17%-33% dengan konsentrasi COD air limbah sebesar 60 mg/L hingga 140 mg/L. Gambar 4.33 menunjukkan besar efisiensi removal yang diperoleh dari analisa selama 8 hari, dengan rata-rata removal sebesar 26%. Pada gambar 4.33, rata-rata hasil efluen dari biofilter stage 2 menggunakan media *bioball* ini hampir semuanya sudah memenuhi baku mutu, namun untuk efisiensi removalnya relatif kecil. Efluen pada biofilter stage 2 selanjutnya menjadi influen

biofilter stage 3 untuk menyisihkan konsentrasi efluen pada stage 2 yang belum memenuhi baku mutu.

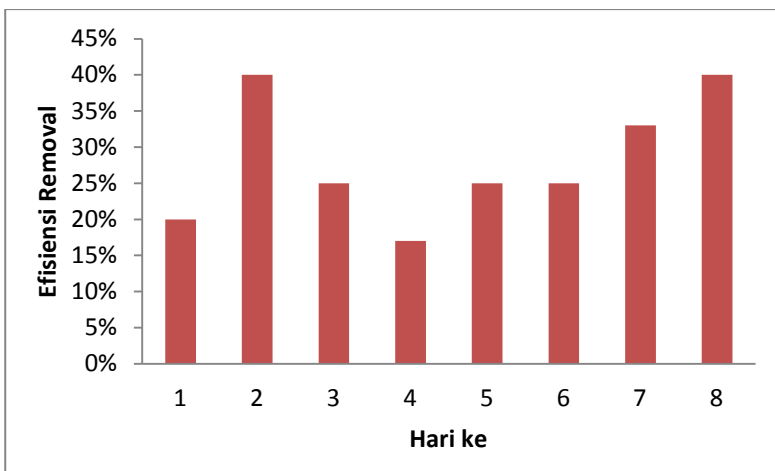


Gambar 4. 33 Efisiensi Removal COD pada Reaktor I Stage 2

4.4.3 Biofilter I Stage 3

Tabel 4. 13 Hasil Uji COD Reaktor I Stage 3 dan Removalnya

| Tanggal | Inlet (mg/L) | Outlet (mg/L) | Efisiensi Removal |
|----------|-----------------|------------------|----------------------|
| 14/05/15 | 50 | 40 | 20% |
| 15/05/15 | 100 | 60 | 40% |
| 16/05/15 | 80 | 60 | 25% |
| 17/05/15 | 60 | 50 | 17% |
| 18/05/15 | 80 | 60 | 25% |
| 19/05/15 | 40 | 30 | 25% |
| 20/05/15 | 60 | 40 | 33% |
| 21/05/15 | 100 | 60 | 40% |



Gambar 4. 34 Efisiensi Removal COD pada Reaktor I Stage 3

Dari tabel 4.13 dapat dilihat bahwa influen pada biofilter stage 3 yaitu antara 40 mg/L hingga 100 mg/L. Influen yang masuk ke biofilter stage 3 sebagian besar sudah memenuhi baku mutu. Hanya pada hari ke-2 dan ke-7, influen belum memenuhi baku mutu.

Kemampuan *biofilm* dalam mengolah air limbah pada biofilter stage 3 ini tidak lebih besar daripada kemampuan removal yang dihasilkan oleh biofilter stage 1. Efisiensi removal COD pada reaktor stage 3 dapat dilihat pada gambar 4.34. Hal ini bisa disebabkan karena konsentrasi air limbah telah banyak tereduksi pada saat masuk ke biofilter stage 1, lalu direduksi lagi ke biofilter stage 2. Akibatnya pada biofilter stage 3, zat organik yang akan di removal jumlahnya lebih sedikit sehingga berpengaruh juga pada kemampuan removalnya. Kemampuan media *bioball* dalam meremoval kandungan COD air limbah pada biofilter stage 3 ini hanya 17% hingga 40%. Removal rata-rata selama 8 hari running dengan waktu tinggal 8 jam hanya mampu menyisihkan 28% kandungan COD.

4.5 Running Reaktor II (Media Kerikil)

Tahap running reaktor dilakukan setelah tahap *seeding* dan aklimatisasi berlangsung. Pengoperasian reaktor dilakukan secara kontinu dengan debit 0,4 ml/s selama 8 hari dengan waktu tinggal 8 jam. Setiap 8 jam sekali dilakukan sampling pada efluen biofilter berturut-turut dari stage 1, stage 2 hingga stage 3. Parameter uji untuk analisis yaitu COD. Teknik pendekatan konvensional yang biasa digunakan untuk pengukuran biomassa adalah dengan mengukur partikulat *Chemical Oxygen Demand* (COD) (Ekama *et al.*, 1986 dalam Henze, 1995).

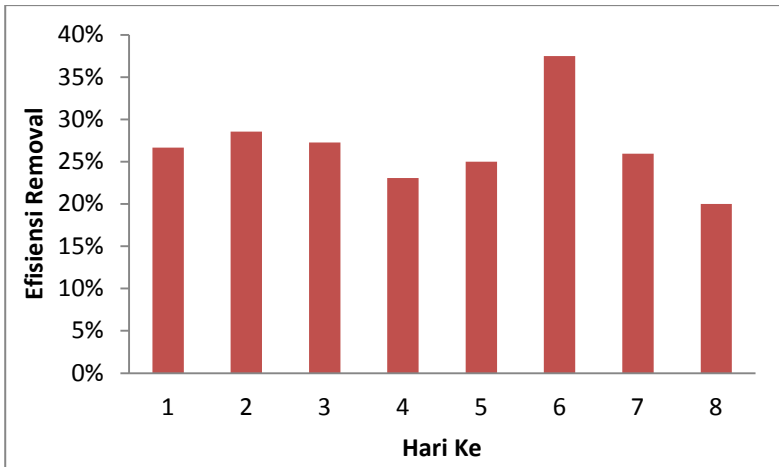
Pada penelitian ini, media kerikil digunakan sebagai filter dalam air limbah non toksik rumah sakit dengan memanfaatkan *biofilm* yang terbentuk dari proses *seeding* dan aklimatisasi. Influen akan melakukan kontak dengan media sehingga terjadi proses biokimia, akibatnya bahan organik yang terdapat dalam limbah cair dapat diturunkan kandungannya. (Metcalf dan Eddy, 2003).

Berikut data uji COD dari biofilter aerobik untuk masing-masing stage :

4.5.1 Biofilter II Stage 1

Tabel 4. 14 Hasil Uji COD Reaktor II Stage 1 dan Removalnya

| Tanggal | Inlet (mg/L) | Outlet (mg/L) | Efisiensi Removal |
|---------|-----------------|------------------|----------------------|
| 28-Mei | 300 | 220 | 27% |
| 29-Mei | 280 | 200 | 29% |
| 30-Mei | 220 | 160 | 27% |
| 31-Mei | 260 | 200 | 23% |
| 01-Jun | 240 | 180 | 25% |
| 02-Jun | 320 | 200 | 38% |
| 03-Jun | 270 | 200 | 26% |
| 04-Jun | 200 | 160 | 20% |



Gambar 4. 35 Efisiensi Removal COD pada Reaktor II Stage 1

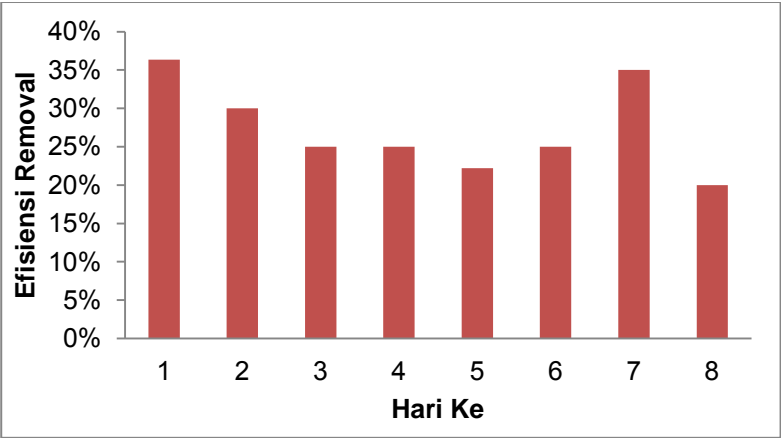
Dari tabel 4.14 dan Gambar 4.35 dapat dilihat bahwa efluen yang telah diolah pada biofilter stage 1 keseluruhan masih belum memenuhi baku mutu. Pada gambar 4.35 dapat dilihat bahwa hasil removal yang tinggi diperoleh pada hari ke 6 dengan efisiensi removal sebesar 38% dengan influen 320 mg/L. pada hari ke 8 dihasilkan removal terendah yaitu sebesar 20% dengan influen yang masuk sebesar 200 mg/L.

Dengan konsentrasi influen tertinggi sebesar 320 mg/L mampu menurunkan kandungan COD sebesar 38% dan dari konsentrasi influen terendah yaitu sebesar 200 mg/L mampu menurunkan kandungan COD sebesar 20%. Efisiensi removal rata-rata dari biofilter stage 1 yaitu sebesar 27%. Karena pada biofilter stage 1 keseluruhan belum memenuhi baku mutu, maka pengolahan dilanjutkan pada biofilter stage 2. Efluen yang keluar dari biofilter stage 1 akan masuk menjadi influen biofilter stage 2.

4.5.2 Biofilter II Stage 2

Tabel 4. 15 Hasil Uji COD Reaktor II Stage 2 dan Removalnya

| Tanggal | Inlet (mg/L) | Outlet (mg/L) | Efisiensi Removal |
|---------|-----------------|------------------|----------------------|
| 28-Mei | 220 | 140 | 36% |
| 29-Mei | 200 | 140 | 30% |
| 30-Mei | 160 | 120 | 25% |
| 31-Mei | 200 | 150 | 25% |
| 01-Jun | 180 | 140 | 22% |
| 02-Jun | 200 | 150 | 25% |
| 03-Jun | 200 | 130 | 35% |
| 04-Jun | 150 | 120 | 20% |



Gambar 4. 36 Efisiensi Removal COD pada Reaktor II Stage 2

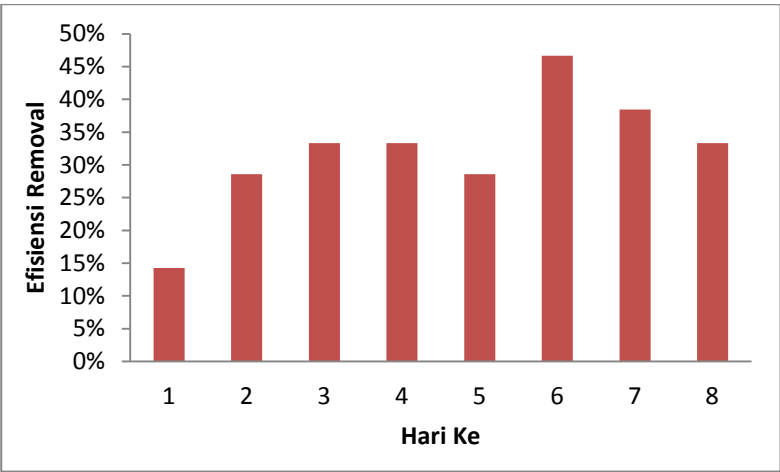
Secara keseluruhan, efisiensi removal COD rata-rata pada biofilter stage 2 ini yaitu sebesar 27%. Dari hari ke-1 hingga hari ke-8, semua efluen dari biofilter stage 2 ini masih belum memenuhi baku mutu. Oleh karena itu, dengan influen sebesar 150 mg/L hingga 220 mg/L masih perlu dilakukan pengolahan

lanjutan pada biofilter stage 3. Efluen yang keluar dari biofilter stage 2 akan masuk menjadi influen biofilter stage 3.

4.5.3 Biofilter II Stage 3

Tabel 4. 16 Hasil Uji COD Reaktor II Stage 3 dan Removalnya

| Tanggal | Inlet (mg/L) | Outlet (mg/L) | Persen Removal |
|---------|-----------------|------------------|-------------------|
| 28-Mei | 140 | 120 | 14% |
| 29-Mei | 140 | 100 | 29% |
| 30-Mei | 120 | 80 | 33% |
| 31-Mei | 150 | 100 | 33% |
| 01-Jun | 140 | 100 | 29% |
| 02-Jun | 150 | 80 | 47% |
| 03-Jun | 130 | 80 | 38% |
| 04-Jun | 120 | 80 | 33% |



Gambar 4. 37 Efisiensi Removal COD pada Reaktor II Stage 3

Dari tabel 4.16 dapat dilihat bahwa konsentrasi air limbah yang masuk ke biofilter stage 3 yaitu antara 120 mg/L hingga 150 mg/L. Efluen yang dihasilkan yaitu sebesar 80 mg/L hingga 120 mg/L. Removal COD tertinggi didapatkan pada hari ke-6 sebesar 47% pada gambar 4.37, sedangkan removal COD terendah didapatkan pada hari ke-1 dengan efisiensi removal sebesar 14%.

Secara keseluruhan, efisiensi removal COD rata-rata pada biofilter stage 2 ini yaitu sebesar 32%. Dari 8 hari running, hanya pada hari ke-3, 6, 7, dan 8 diperoleh efluen yang memenuhi baku mutu.

Hasil efisiensi removal biofilter aerobik dari penelitian ini, tidak mendapatkan removal maksimal yang seharusnya bisa diperoleh. Menurut penelitian Said (2005), pengolahan air limbah dengan biofilter aerobik pada air limbah pencucian jeans menggunakan media *bioball* didapatkan efisiensi penghilangan COD sebesar 78-91%. Sedangkan pada penggunaan media kerikil dalam biofilter aerobik juga mampu meningkatkan efisiensi penghilangan COD sebesar 75,4% (BPPT, 1994).

Removal tersebut masih jauh dari removal rata-rata yang didapatkan pada hasil penelitian. Oleh karena itu, adanya faktor yang menghambat kinerja biofilter aerobik rangkaian seri ini perlu dianalisis, antara lain :

a. Suhu

Suhu ideal pada pertumbuhan biofilm umumnya pada kondisi suhu antara 25°C hingga 35°C. Suhu dari biofilter aerobik rangkaian seri media *bioball* dan kerikil yaitu berkisar antara 25-29°C. Hal ini menunjukkan bakteri mesofilik masih mendominasi proses penguraian zat pencemar dalam bioreaktor. Suhu yang tinggi akan merusak proses dengan mencegah aktivitas enzim dalam sel.

Peningkatan suhu juga dapat meningkatkan penurunan efisiensi pengolahan (Said, 2005). Karena rentang suhu pada reaktor biofilter aerobik media kerikil dan *bioball* masih berada pada rentang suhu optimum, maka faktor suhu bukanlah penyebab dari kurangnya efisiensi removal yang dihasilkan.

b. pH

Nilai pH dimana mikroorganisme dapat hidup yaitu berkisar antara 6-9. Secara umum, pH operasi untuk proses aerobik berkisar pada pH 6,5-7,2 (Slamet dan Masduki, 2002).

Hasil dari penelitian biofilter aerobik rangkaian seri didapatkan:

- Biofilter aerobik media bioball
Stage 1 = pH 6,8
Stage 2 = pH 7
Stage 3 = pH 6,9
- biofilter aerobik media kerikil
Stage 1 = pH 6,9
Stage 2 = pH 7,1
Stage 3 = pH 7

Dari nilai diatas dapat diketahui bahwa pada masing-masing biofilter aerobik baik dari media bioball maupun media kerikil, nilai pH masih berkisar pada 6,5-7,2. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pH pada masing-masing reaktor masih berjalan optimum.

c. Rasio COD : N : P

Rasio COD : N : P juga berperan penting dalam pengolahan air limbah secara biologis. Menurut Metcalf dan Eddy (2003), pengolahan air limbah dapat berjalan optimal pada kondisi rasio COD:N:P 100:5:1 untuk pengolahan aerobik.

Dari hasil penelitian didapatkan nilai rasio COD:N:P adalah sebagai berikut:

- Biofilter aerobik media bioball
COD = 280 mg/L
N = 0,45 mg/L
P = 7,19 mg/L
- Biofilter aerobik media kerikil
COD = 320 mg/L
N = 0,67 mg/L
P = 10,36 mg/L

Perhitungan rasio ini didasarkan atas rasio COD : N dan rasio COD : P.

- Biofilter aerobik media bioball
COD : N = 100 : 5

COD : N = 280 mg/L : 14 mg/L (kondisi ideal)

COD : P = 100 : 1

COD : P = 280 mg/L : 2,8 mg/L (kondisi ideal)

- Biofilter aerobik media kerikil

COD : N = 100 : 5

COD : N = 320 mg/L : 16 mg/L (kondisi ideal)

COD : P = 100 : 1

COD : P = 280 mg/L : 3,2 mg/L (kondisi ideal)

Dari hasil perhitungan rasio diatas, dapat diketahui bahwa pada kedua reaktor biofilter aerobik media bioball maupun kerikil sama-sama mempunyai nilai N yang kurang dari kondisi ideal. Sehingga menyebabkan pengolahan pada reaktor belum berjalan optimal dan mengakibatkan hasil efisiensi removal pengolahan rendah.

d. F/M Rasio

Food-to-microorganism ratio atau *Food-to-mass ratio* disingkat F/M Ratio. Parameter ini menunjukkan jumlah zat organik (BOD) yang dihilangkan dibagi dengan jumlah massa mikroorganisme di dalam bak aerasi atau reaktor. Besarnya nilai F/M ratio umumnya ditunjukkan dalam kilogram MLSS per hari.

$$F/M \text{ rasio} = \frac{Q \times S_0}{V \times MLVSS}$$

Q = laju air limbah m³ per hari

S₀ = konsentrasi BOD di dalam air limbah yang masuk ke bak aerasi (reaktor) (kg/m³)

S = konsentrasi BOD di dalam effluent (kg/m³)

MLSS = *Mixed-liquor suspended solids* (kg/m³)

V = volume reaktor atau bak aerasi (m³)

- Reaktor biofilter aerobik media bioball

Diketahui :

Stage 1

Q = 0,0006 L/s

S₀ = 280 mg/L

V = 16,72 L

MLVSS = 159,5 mg/L

$$F/M \text{ rasio} = \frac{Q \times S_0}{V \times MLSS} = \frac{\frac{0,0006L}{s} \times 280mg/L}{16,72 L \times 159,5 mg/L}$$

$$= 0,000063$$

Stage 2

$$Q = 0,0006 \text{ L/s}$$

$$S_o = 98 \text{ mg/L}$$

$$V = 16,72 \text{ L}$$

$$MLVSS = 159,5 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{F/M rasio} &= \frac{Q \times S_o}{V \times MLSS} = \frac{\frac{0,0006L}{s} \times 98mg/L}{16,72 \text{ L} \times 159,5 \text{ mg/L}} \\ &= 2,2 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

Stage 3

$$Q = 0,0006 \text{ L/s}$$

$$S_o = 50 \text{ mg/L}$$

$$V = 16,72 \text{ L}$$

$$MLVSS = 159,5 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{F/M rasio} &= \frac{Q \times S_o}{V \times MLSS} = \frac{\frac{0,0006L}{s} \times 50mg/L}{16,72 \text{ L} \times 159,5 \text{ mg/L}} \\ &= 1,12 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

- Reaktor biofilter aerobik media kerikil

Diketahui :

Stage 1

$$Q = 0,0003 \text{ L/s}$$

$$S_o = 261 \text{ mg/L}$$

$$V = 8,4 \text{ L}$$

$$MLVSS = 189,6 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{F/M rasio} &= \frac{Q \times S_o}{V \times MLSS} = \frac{\frac{0,0003L}{s} \times 261mg/L}{8,4 \text{ L} \times 189,6 \text{ mg/L}} \\ &= 0,000049 \end{aligned}$$

Stage 2

$$Q = 0,0003 \text{ L/s}$$

$$S_o = 190 \text{ mg/L}$$

$$V = 8,4 \text{ L}$$

$$MLVSS = 189,6 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{F/M rasio} &= \frac{Q \times S_o}{V \times MLSS} = \frac{\frac{0,0003L}{s} \times 190mg/L}{8,4 \text{ L} \times 189,6 \text{ mg/L}} \\ &= 3,6 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

Stage 3

Q = 0,0003 L/s

So = 136 mg/L

V = 8,4 L

MLVSS = 189,6 mg/L

$$\begin{aligned} \text{F/M rasio} &= \frac{Q \times S_o}{V \times MLSS} = \frac{\frac{0,0003L}{s} \times 136mg/L}{8,6 L \times 189,6 mg/L} \\ &= 2,56 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

Karena rasio F/M pada semua stage kecil, maka pengolahan air limbah non toksik menggunakan biofilter aerobik media bioball dan kerikil masih berjalan normal dan bukan penyebab hasil efisiensi removal rendah.

e. *HRT*

Hydraulic retention time (HRT). Waktu tinggal hidraulik adalah waktu rata-rata air limbah tinggal didalam reaktor

$$HRT = \frac{V}{Q}$$

Dimana :

V = volume reaktor (m³)

Q = debit air limbah yang masuk (m³/jam)

Cek nilai HRT pada reaktor biofilter aerobik media bioball dan kerikil

- Reaktor biofilter aerobik media bioball

Diketahui :

V. bioball = 16,72 L

Q. bioball = 0,0006 L/s

$$HRT = \frac{V}{Q} = \frac{16,72 L}{0,0006 L/s} = 27867 s = 7,7 \text{ jam} \sim 8 \text{ jam}$$

- Reaktor biofilter aerobik media bioball

Diketahui :

V. bioball = 8,4 L

Q. bioball = 0,0003 L/s

$$HRT = \frac{V}{Q} = \frac{8,4 L}{0,0003 L/s} = 28000 s = 7,8 \text{ jam} \sim 8 \text{ jam}$$

f. *Neraca Massa*

Perhitungan kesetimbangan massa ini diperlukan dalam menentukan arah massa dan energi yang terbebaskan pada

proses yang terjadi pada setiap unit bangunan. Massa dan Energi yang dimaksud merupakan padatan yang terbentuk dan gas yang terbentuk.

- Biofilter Media Bioball

Stage 1

$$\begin{aligned}
 Q &= 0,0006 \text{ L/s} = 2,09 \text{ L/jam} \\
 \text{COD in} &= 220 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa in} &= \text{COD in} \times Q \\
 &= 220 \text{ mg/L} \times 0,0006 \text{ L/s} \\
 &= 0,132 \text{ mg/s} \\
 \% \text{ removal} &= 52\% \\
 &= 52\% \times \text{massa in} \\
 &= 52\% \times 0,132 \text{ mg/s} = 0,07 \text{ mg/s} \\
 \text{Massa out} &= \text{massa in} - (\text{massa in} \times \text{persen removal}) \\
 &= 0,132 \text{ mg/s} - (0,132 \text{ mg/s} \times 0,07 \text{ mg/s}) \\
 &= 0,1 \text{ mg/s}
 \end{aligned}$$

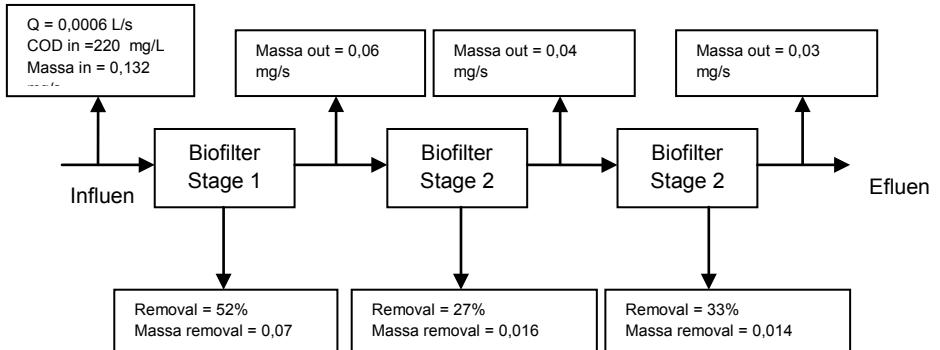
Stage 2

$$\begin{aligned}
 Q &= 0,0006 \text{ L/s} = 2,09 \text{ L/jam} \\
 \text{COD in} &= 98 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa in} &= \text{COD in} \times Q \\
 &= 98 \text{ mg/L} \times 0,0006 \text{ L/s} \\
 &= 0,06 \text{ mg/s} \\
 \% \text{ removal} &= 27\% \\
 &= 27\% \times \text{massa in} \\
 &= 27\% \times 0,06 \text{ mg/s} = 0,016 \text{ mg/s} \\
 \text{Massa out} &= \text{massa in} - (\text{massa in} \times \text{persen removal}) \\
 &= 0,06 \text{ mg/s} - (0,06 \text{ mg/s} \times 0,016 \text{ mg/s}) \\
 &= 0,04 \text{ mg/s}
 \end{aligned}$$

Stage 3

$$\begin{aligned}
 Q &= 0,0006 \text{ L/s} = 2,09 \text{ L/jam} \\
 \text{COD in} &= 71 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa in} &= \text{COD in} \times Q \\
 &= 71 \text{ mg/L} \times 0,0006 \text{ L/s} \\
 &= 0,04 \text{ mg/s} \\
 \% \text{ removal} &= 33\% \\
 &= 33\% \times \text{massa in} \\
 &= 33\% \times 0,04 \text{ mg/s} = 0,01 \text{ mg/s} \\
 \text{Massa out} &= \text{massa in} - (\text{massa in} \times \text{persen removal}) \\
 &= 0,04 \text{ mg/s} - (0,04 \text{ mg/s} \times 0,01 \text{ mg/s})
 \end{aligned}$$

$$= 0,03 \text{ mg/s}$$



Gambar 4. 38 Diagram Mass Balance Biofilter Aerobik Media Bioball

- Biofilter Media Kerikil

Stage 1

Q = 0,0003 L/s

COD in = 261 mg/L

Massa in = COD in x Q
 $= 261 \text{ mg/L} \times 0,0003 \text{ L/s}$
 $= 0,08 \text{ mg/s}$

% removal = 27%
 $= 27\% \times \text{massa in}$
 $= 27\% \times 0,08 \text{ mg/s} = 0,02 \text{ mg/s}$

Massa out = massa in – (massa in x persen removal)
 $= 0,08 \text{ mg/s} - (0,08 \text{ mg/s} \times 0,02 \text{ mg/s})$
 $= 0,06 \text{ mg/s}$

Q = 0,0003 L/s

COD in = 261 mg/L

Massa in = COD in x Q
 $= 261 \text{ mg/L} \times 0,0003 \text{ L/s}$
 $= 0,08 \text{ mg/s}$

% removal = 27%
 $= 27\% \times \text{massa in}$
 $= 27\% \times 0,08 \text{ mg/s} = 0,02 \text{ mg/s}$

Massa out = massa in – (massa in x persen removal)

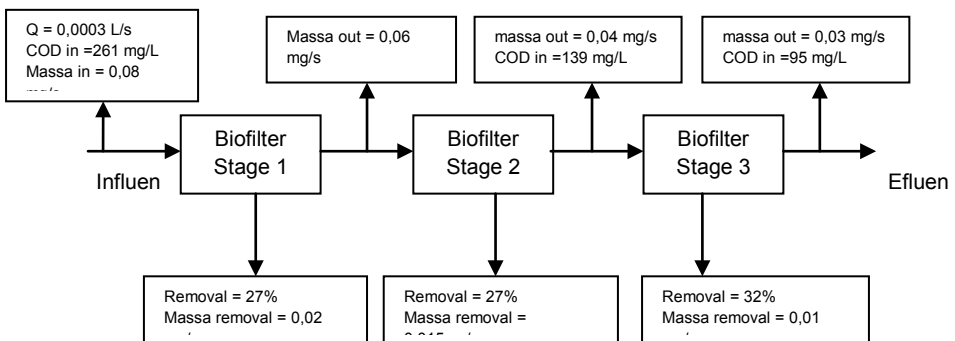
$$\begin{aligned}
 &= 0,08 \text{ mg/s} - (0,08 \text{ mg/s} \times 0,02 \text{ mg/s}) \\
 &= 0,06 \text{ mg/s}
 \end{aligned}$$

Stage 2

$$\begin{aligned}
 Q &= 0,0003 \text{ L/s} \\
 \text{COD in} &= 190 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa in} &= \text{COD in} \times Q \\
 &= 190 \text{ mg/L} \times 0,0003 \text{ L/s} \\
 &= 0,06 \text{ mg/s} \\
 \% \text{ removal} &= 27\% \\
 &= 27\% \times \text{massa in} \\
 &= 27\% \times 0,006 \text{ mg/s} = 0,015 \text{ mg/s} \\
 \text{Massa out} &= \text{massa in} - (\text{massa in} \times \text{persen removal}) \\
 &= 0,06 \text{ mg/s} - (0,06 \text{ mg/s} \times 0,015 \text{ mg/s}) \\
 &= 0,04 \text{ mg/s}
 \end{aligned}$$

Stage 3

$$\begin{aligned}
 Q &= 0,0003 \text{ L/s} \\
 \text{COD in} &= 136 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa in} &= \text{COD in} \times Q \\
 &= 136 \text{ mg/L} \times 0,0003 \text{ L/s} \\
 &= 0,04 \text{ mg/s} \\
 \% \text{ removal} &= 32\% \\
 &= 32\% \times \text{massa in} \\
 &= 32\% \times 0,04 \text{ mg/s} = 0,01 \text{ mg/s} \\
 \text{Massa out} &= \text{massa in} - (\text{massa in} \times \text{persen removal}) \\
 &= 0,04 \text{ mg/s} - (0,04 \text{ mg/s} \times 0,01 \text{ mg/s}) \\
 &= 0,03 \text{ mg/s}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 39 Diagram Mass Balance Biofilter Aerobik Media Kerikil

g. Produksi Lumpur

$$\frac{Y_{obs} \times Q \times (S_o - S)_{VSS}}{1000 \text{ kg/g}}$$

- Reaktor biofilter aerobik media bioball

Stage 1

Diketahui :

$$Y_{obs} = 0,4 \text{ g VSS/g COD}$$

$$P_x = 5,71 \text{ kg/hari}$$

$$Q = 0,0006 \text{ L/s}$$

$$S_o = 280$$

$$S = 98$$

$$\text{Produksi lumpur} = 0,4 \text{ g} \frac{\text{VSS}}{\text{g}} \text{COD} \times 0,0006 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times (280 - 98) \text{ mg/L}$$

$$= 0,044 \text{ mg/s} = 4,368 \times 10^{-8} \text{ kg/s}$$

Stage 2

Diketahui :

$$Y_{obs} = 0,4 \text{ g VSS/g COD}$$

$$P_x = 5,71 \text{ kg/hari}$$

$$Q = 0,0006 \text{ L/s}$$

$$S_o = 98$$

$$S = 71$$

$$\text{Produksi lumpur} = 0,4 \text{ g} \frac{\text{VSS}}{\text{g}} \text{COD} \times 0,0006 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times (98 - 71) \text{ mg/L}$$

$$= 0,00648 \text{ mg/s} = 6,48 \times 10^{-9} \text{ kg/s}$$

Stage 3

Diketahui :

$$Y_{obs} = 0,4 \text{ g VSS/g COD}$$

$$P_x = 5,71 \text{ kg/hari}$$

$$Q = 0,0006 \text{ L/s}$$

$$S_o = 71$$

$$S = 50$$

$$\text{Produksi lumpur} = 0,4 \text{ g} \frac{\text{VSS}}{\text{g}} \text{COD} \times 0,0006 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times (71 - 50) \text{ mg/L}$$

$$= 0,00504 \text{ mg/s} = 5,04 \times 10^{-9} \text{ kg/s}$$

- Reaktor biofilter aerobik media kerikil

Stage 1

Diketahui :

$$Y_{obs} = 0,4 \text{ g VSS/g COD}$$

$$P_x = 5,71 \text{ kg/hari}$$

$$Q = 0,0003 \text{ L/s}$$

$$S_o = 261$$

$$S = 190$$

$$\text{Produksi lumpur} = 0,4 \text{ g} \frac{VSS}{g} COD \times 0,0003 \frac{L}{s} \times (261 - 190) \text{ mg/L}$$

$$= 0,0085 \text{ mg/s} = 8,5 \times 10^{-9} \text{ kg/s}$$

Stage 2

Diketahui :

$$Y_{obs} = 0,4 \text{ g VSS/g COD}$$

$$P_x = 5,71 \text{ kg/hari}$$

$$Q = 0,0003 \text{ L/s}$$

$$S_o = 190$$

$$S = 136$$

$$\text{Produksi lumpur} = 0,4 \text{ g} \frac{VSS}{g} COD \times 0,0003 \frac{L}{s} \times (190 - 136) \text{ mg/L}$$

$$= 0,0065 \text{ mg/s} = 6,5 \times 10^{-9} \text{ kg/s}$$

Stage 3

Diketahui :

$$Y_{obs} = 0,4 \text{ g VSS/g COD}$$

$$P_x = 5,71 \text{ kg/hari}$$

$$Q = 0,0003 \text{ L/s}$$

$$S_o = 136$$

$$S = 93$$

$$\text{Produksi lumpur} = 0,4 \text{ g} \frac{VSS}{g} COD \times 0,0003 \frac{L}{s} \times (136 - 93) \text{ mg/L}$$









$$= 0,0052 \text{ mg/s} = 5,2 \times 10^{-9} \text{ kg/s}$$

Produksi lumpur aktual dihitung dari konsentrasi lumpur yang dihasilkan dari reaktor biofilter dikali dengan mass balance. Lumpur yang digunakan yaitu lumpur dari reaktor biofilter aerobik seperti pada gambar 4.40. dan kemudian diencerkan dengan aquades untuk menentukan konsentrasi lumpur sebenarnya yang dapat dilihat pada gambar 4.41. Dari hasil penelitian didapatkan

konsentrasi lumpur didapatkan sebesar 1,4 gr/50 ml seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.42.



Gambar 4. 40 Lumpur Reaktor Biofilter Aerobik

| | | | |
|---|---|---|---|
|  |  |  |  |
| 0,2 gr/50 ml | 0,4 gr/50 ml | 0,6 gr/50 ml | 0,8 gr/50 ml |
|  |  |  |  |
| 1 gr/50 ml | 1,2 gr/50 ml | 1,4 gr/50 ml | 1,6 gr/50 ml |

Gambar 4. 41 Penentuan Konsentrasi Lumpur



Gambar 4. 42 Hasil Konsentrasi Lumpur Reaktor Biofilter Aerobik

Tabel 4. 17 Produksi Lumpur pada Biofilter Aerobik

| Produksi Lumpur | Media Bioball Stage 1 (mg/s) | Media Bioball Stage 2 (mg/s) | Media Bioball Stage 3 (mg/s) |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Teoritis | 0,044 | 0,006 | 0,005 |
| Hasil Analisa | 0,078 | 0,003 | 0,002 |
| Produksi Lumpur | Media Kerikil Stage 1 (mg/s) | Media Kerikil Stage 2 (mg/s) | Media Kerikil Stage 3 (mg/s) |
| Teoritis | 0,009 | 0,007 | 0,005 |
| Hasil Analisa | 0,005 | 0,004 | 0,0014 |

Dari tabel 4.17 diatas dapat diketahui bahwa hasil produksi lumpur secara teoritis dan hasil analisa nilainya berbeda jauh, kemungkinan yang menyebabkan produksi lumpur dari hasil analisa disebabkan oleh letak outlet reaktor, tidak adanya penyaring pada outlet, pengendapan lumpur pada media dan tidak adanya sekat(baffle).



Gambar 4.34 Outlet Reaktor dan Ruang Lumpur

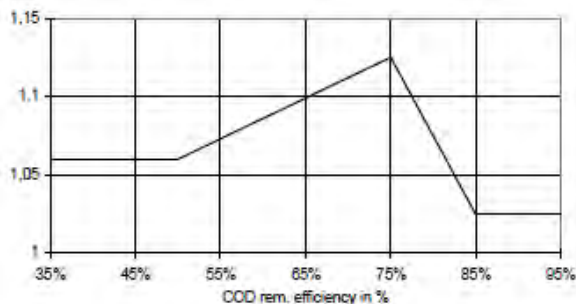
Pada reaktor biofilter aerobik, seperti yang ditunjukkan pada gambar posisi kran outlet seharusnya lebih tinggi, sehingga lumpur tidak ikut terbawa langsung oleh efluen. Selain itu, tidak adanya penyaring pada lubang kran juga yang mengakibatkan lumpur tersebut tidak mengendap ke dalam ruang lumpur dan mengakibatkan lumpur ikut terbawa saat efluen keluar dari reaktor biofilter.

Desain awal reaktor juga seharusnya terdapat sekat (baffle), sehingga efluen air limbah yang telah diolah pada biofilter aerobik dengan waktu tinggal 8 jam tidak langsung keluar melalui kran outlet dan ada waktu pengendapan lumpur pada efluen tersebut.

Faktor lain yang menyebabkan pengolahan biofilter aerobik ini belum optimal yaitu pada media bioball maupun kerikil, mudah terjadi clogging. Sehingga lumpur yang seharusnya mengendap pada ruang lumpur, ikut menempel pada media yang telah ditumbuhi biofilm. Akibatnya, semua faktor yang menyebabkan produksi lumpur yang dihasilkan sangat kecil menyebabkan nilai efisiensi removal yang dihasilkan oleh biofilter aerobik menjadi sangat kecil.

h. Rasio BOD/COD

Rasio BOD/COD bertambah besar selama proses biologi karena BOD mewakili bagian dimana konsumsi oksigen pada proses biologi ketika COD mewakili semua konsumsi oksigen. Penghilangan BOD adalah persentase penghilangan yang lebih kecil pada COD daripada BOD.



**Gambar 4. 43 Kurva Rasio Efisiensi BOD removal / COD removal
(Sumber : Sasse, 1998)**

Berikut hasil perhitungan nilai BOD pada biofilter aerobik media bioball dan kerikil

Tabel 4. 18 Hasil Nilai BOD pada Biofilter Aerobik Media Bioball Stage 1

| Inlet (mg/L) | Efisiensi Removal | BOD rem | COD outflow | BOD outflow | Rasio BOD/COD |
|---------------------|--------------------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 240 | 75% | 1,125 | 60 | 20 | 0,3 |
| 280 | 57% | 1,0782 | 120 | 57 | 0,5 |
| 240 | 50% | 1,06 | 120 | 63 | 0,5 |
| 220 | 64% | 1,0964 | 79 | 33 | 0,4 |
| 200 | 40% | 1,06 | 120 | 75 | 0,6 |
| 200 | 70% | 1,112 | 60 | 22 | 0,4 |
| 180 | 56% | 1,0756 | 79 | 38 | 0,5 |
| 200 | 30% | 1,06 | 140 | 100 | 0,7 |

Tabel 4. 19 Hasil Nilai BOD pada Biofilter Aerobik Media Bioball Stage 2

| Inlet (mg/L) | Efisiensi Removal | BOD rem | COD outflow | BOD outflow | Rasio BOD/COD |
|---------------------|--------------------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 60 | 17% | 1,06 | 50 | 42 | 0,8 |
| 120 | 17% | 1,06 | 100 | 84 | 0,8 |
| 120 | 33% | 1,06 | 80 | 55 | 0,7 |
| 80 | 25% | 1,06 | 60 | 46 | 0,8 |
| 120 | 33% | 1,06 | 80 | 55 | 0,7 |
| 60 | 33% | 1,06 | 40 | 28 | 0,7 |
| 80 | 25% | 1,06 | 60 | 46 | 0,8 |
| 140 | 29% | 1,06 | 99 | 72 | 0,7 |

Tabel 4. 20 Hasil Nilai BOD pada Biofilter Aerobik Media Bioball Stage 3

| Inlet (mg/L) | Efisiensi Removal | BOD rem | COD outflow | BOD outflow | Rasio BOD/COD |
|---------------------|--------------------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 50 | 20% | 1,06 | 40 | 32 | 0,8 |
| 100 | 40% | 1,06 | 60 | 37 | 0,6 |
| 80 | 25% | 1,06 | 60 | 46 | 0,8 |

| Inlet (mg/L) | Efisiensi Removal | BOD rem | COD outflow | BOD outflow | Rasio BOD/COD |
|-------------------------|------------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| 60 | 17% | 1,06 | 50 | 42 | 0,8 |
| 80 | 25% | 1,06 | 60 | 46 | 0,8 |
| 40 | 25% | 1,06 | 30 | 23 | 0,8 |
| 60 | 33% | 1,06 | 40 | 28 | 0,7 |
| 100 | 40% | 1,06 | 60 | 37 | 0,6 |

Tabel 4. 21 Hasil Nilai BOD pada Biofilter Aerobik Media Kerikil Stage 1

| Inlet (mg/L) | Efisiensi Removal | BOD rem | COD outflow | BOD outflow | Rasio BOD/COD |
|-------------------------|------------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| 300 | 27% | 1,06 | 220 | 164 | 0,7 |
| 280 | 29% | 1,06 | 200 | 145 | 0,7 |
| 220 | 27% | 1,06 | 160 | 119 | 0,7 |
| 260 | 23% | 1,06 | 200 | 157 | 0,8 |
| 240 | 25% | 1,06 | 180 | 138 | 0,8 |
| 320 | 38% | 1,06 | 200 | 128 | 0,6 |
| 270 | 26% | 1,06 | 200 | 151 | 0,8 |
| 200 | 20% | 1,06 | 160 | 130 | 0,8 |

Tabel 4. 22 Hasil Nilai BOD pada Biofilter Aerobik Media Kerikil Stage 2

| Inlet (mg/L) | Efisiensi Removal | BOD rem | COD outflow | BOD outflow | Rasio BOD/COD |
|-------------------------|------------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| 220 | 36% | 1,06 | 141 | 93 | 0,7 |
| 200 | 30% | 1,06 | 140 | 100 | 0,7 |
| 160 | 25% | 1,06 | 120 | 92 | 0,8 |
| 200 | 25% | 1,06 | 150 | 115 | 0,8 |
| 180 | 22% | 1,06 | 140 | 111 | 0,8 |
| 200 | 25% | 1,06 | 150 | 115 | 0,8 |
| 200 | 35% | 1,06 | 130 | 87 | 0,7 |
| 150 | 20% | 1,06 | 120 | 97 | 0,8 |

Tabel 4. 23 Hasil Nilai BOD pada Biofilter Aerobik Media Kerikil Stage 3

| Inlet (mg/L) | Persen Removal | BOD rem | COD outflow | BOD outflow | Rasio BOD/COD |
|-------------------------|---------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| 140 | 14% | 1,06 | 120 | 104 | 0,9 |
| 140 | 29% | 1,06 | 99 | 72 | 0,7 |
| 120 | 33% | 1,06 | 80 | 55 | 0,7 |
| 150 | 33% | 1,06 | 101 | 69 | 0,7 |
| 140 | 29% | 1,06 | 99 | 72 | 0,7 |
| 150 | 47% | 1,06 | 80 | 44 | 0,6 |
| 130 | 38% | 1,06 | 81 | 52 | 0,6 |
| 120 | 33% | 1,06 | 80 | 55 | 0,7 |

Dari hasil rasio BOD/COD keseluruhan, hampir semuanya memenuhi kriteria. Menurut Metcalf dan Eddy (2004), pengolahan biologis dapat berjalan optimal pada rentang rasio BOD/COD 0,4-0,8. Hanya pada hari pertama rasio BOD/COD sebesar 0,3 yang artinya air limbah tersebut bersifat non biodegradable.

i. Dissolve Oxygen

DO atau oksigen terlarut dibutuhkan oleh mikroorganisme aerobik untuk proses respirasi (Metcalf dan Eddy, 2003). Pada proses aerob dapat terjadi perubahan konsentrasi DO karena DO tersebut digunakan sesuai dengan kebutuhan oksigen dalam air limbah untuk proses respirasi dan oksidasi (Ding *et al.*, 2012). Konsentrasi DO di atas 1,5 mg/L dibutuhkan agar dapat terjadi proses nitrifikasi

Pengecekan nilai DO pada reaktor dimaksudkan untuk mengetahui apakah oksigen terlarut mencukupi atau tidak saat proses biologis berlangsung. Penelitian dilakukan pada biofilter aerobik media bioball dengan pengambilan sampel pada media setinggi 0 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm dan 40 cm. hasil penelitian menunjukkan nilai DO pada semua ketinggian yaitu sama, sebesar 4,9 mg/L. sehingga konsentrasi DO pada reaktor biofilter

aerobik masih memenuhi untuk dilakukan proses biologis pada reaktor karena adanya kecukupan oksigen.

4.6 Perhitungan Dimensi Biofilter Aerobik

Setelah dilakukan penelitian biofilter aerobik untuk air limbah non toksik Rumah Sakit X, maka perlu pertimbangan desain apabila biofilter tersebut diterapkan di Rumah Sakit X.

Diketahui

COD in = 320 mg/L

TSS = 159,5 mg/L

Direncanakan

Qave = 78,47 m³/hari

HRT = 24 jam

Porositas media bioball = 0,92

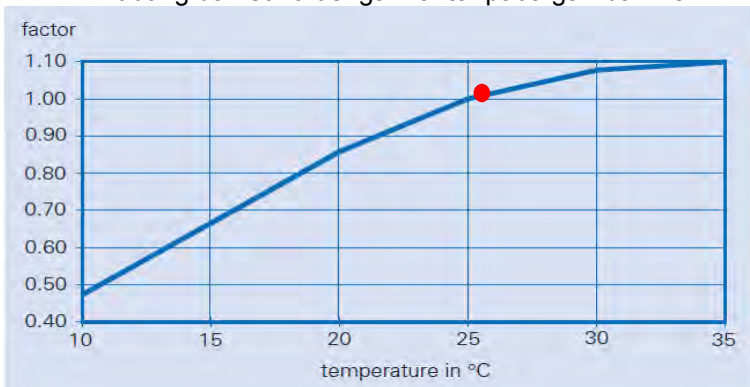
Spesifik permukaan media= 220 m²/m³ (Said, 2005)

- Penentuan efisiensi removal dari biofilter aerobik

Efisiensi removal dari biofilter aerobik menurut Sasse (2009), berasal dari beberapa faktor yaitu faktor suhu, faktor strength, faktor HRT dan faktor surface (luas permukaan media). Penentuan efisiensi removal ini agar biofilter aerobik yang direncanakan mampu bekerja optimal dalam pengolahan air limbah non toksik di Rumah Sakit X.

1. Faktor suhu

Faktor suhu dapat ditentukan dengan menarik garis hubung dari suhu dengan faktor pada gambar 4.32.

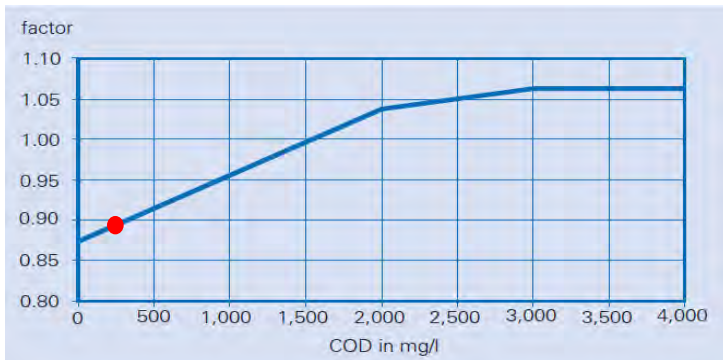


Gambar 4. 44 Grafik Faktor Suhu Biofilter Aerobik

Suhu yang direncanakan dalam biofilter aerobik ini mengikuti suhu IPAL eksisting, yaitu sebesar 26°C dan didapatkan nilai 1,016

2. Faktor *Strenght*

Faktor *strenght wastewater* adalah faktor kualitas air limbah yang masuk dalam biofilter aerobik . Faktor ini ditentukan dengan menarik garis hubungan dari garis absis yang merupakan konsentrasi COD in dengan garis ordinat yang merupakan faktor *strenght*. Penentuan faktor *strenght* dijelaskan dalam gambar 4.33.



Gambar 4. 45 Faktor *Strenght* Biofilter Aerobik

Pada perencanaan biofilter aerobik ini, konsentrasi COD in yang masuk sebesar 320 mg/L. Berdasarkan pada gambar, faktor *strenght* yang didapatkan apabila konsentrasi COD in sebesar 320 mg/L adalah 0,89.

3. Faktor HRT

Faktor HRT dalam biofilter aerobik ditentukan berdasarkan HRT yang direncanakan dalam unit ini yaitu sebesar 24 jam. HRT yang direncanakan tersebut berhubungan dengan prosentase optimal removal COD.



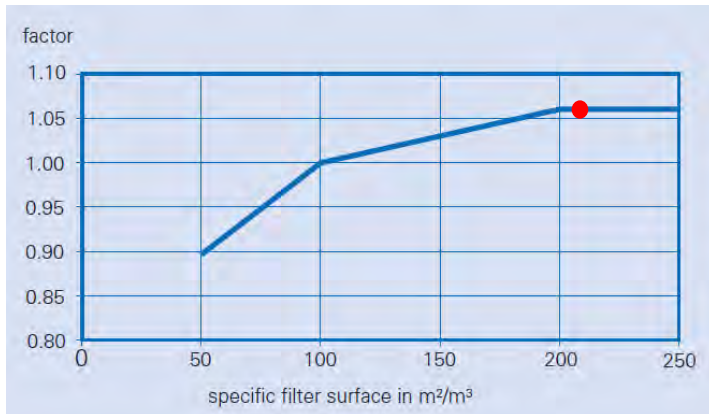
Gambar 4. 46 Faktor HRT Biofilter Aerobik
(sumber: Sassse, 2009)

Pada gambar 4.34, terdapat 3 titik kritis yaitu pada HRT 18 jam, 24 jam, dan 33 jam. HRT yang direncanakan untuk biofilter aerobik adalah 24 jam sehingga faktor HRT yang didapatkan adalah 0,67.

4. Faktor *Surface*

Penentuan faktor *surface* (luas permukaan media) dapat ditentukan berdasarkan gambar 4.35.

Pada biofilter aerobik menggunakan media bioball, didapatkan luas spesifik media sebesar $220 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Berdasarkan pada gambar, diketahui bahwa titik pada garis ordinat yang bertemu pada garis gradien berdasarkan garis absis 150 adalah 1,05. Oleh karena itu, faktor *surface* dalam perencanaan ini sebesar 1,05.



Gambar 4. 47 Faktor *Surface Biofilter Aerobik*
(sumber: Sassse, 2009)

Efisiensi removal COD dapat ditentukan berdasarkan faktor-faktor yang telah diketahui. Penentuan efisiensi removal COD menggunakan rumus persentase efisiensi removal.

$$\text{Removal COD (\%)} = \text{faktor suhu} \times \text{faktor } \textit{strenght} \times \text{faktor } \textit{surface} \times \text{faktor HRT} \times (1 + (\Sigma \text{Kompertemen} \times 0,04))$$

Direncanakan jumlah kompartemen media biofilter berjumlah 8 buah. Jumlah kompartemen in untuk meningkatkan efsiensi removal COD agar mendekati nilai optimal.

$$\begin{aligned} \text{Removal COD (\%)} &= 1,016 \times 0,89 \times 0,67 \times 1,05 \times (1 + (8 \times 0,04)) \\ &= 0,85 \\ &= 85 \% \end{aligned}$$

Penentuan removal BOD memiliki hubungan dengan nilai removal COD yang telah ditentukan. Berdasarkan pada gambar, besar kecilnya nilai removal COD pada biofilter aerobik menentukan faktor rasio BOD removal / COD removal.

$$\text{Removal BOD (\%)} = \text{Rasio BOD}_{\text{rem}}/\text{COD}_{\text{rem}} \times \text{Removal COD}$$

Berdasarkan pada, rasio BOD_{rem}/COD_{rem} dengan removal COD 89% adalah 0,89.

$$\begin{aligned}\text{Removal BOD (\%)} &= 1,025 \times 85 \% \\ &= 88 \%\end{aligned}$$

Penentuan removal TSS menggunakan acuan penelitian terdahulu oleh Sasse (2009), dimana removal TSS pada unit biofilter aerobik sebesar 97,1 %.

Tabel 4. 24 Efisiensi Removal Biofilter Aerobik

| Biofilter Aerobik | BOD | COD | TSS |
|-------------------|-------|-------|-------|
| Influen (mg/L) | 192 | 320 | 159 |
| Removal (%) | 0,88 | 0,89 | 0,971 |
| Effluen (mg/L) | 23,04 | 39,52 | 4,611 |

Berdasarkan tabel, diketahui bahwa efisiensi removal biofilter aerobik telah memenuhi baku mutu limbah cair berdasarkan Peraturan Gubernur nomor 72 tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Rumah Sakit untuk parameter BOD sebesar 30 mg/L, COD sebesar 80 mg/L, dan TSS sebesar 30 mg/L.

- Debit rata-rata (Qave) = 78470 L/hari
= 78,47 m³/hari
= 3,27 m³/jam
- COD = 320 mg/L
= 0,00032 kg/L
- Organik Loading Rate (OLR) = 10 kg COD/m³/hari
(10-12 kg COD/m³/hari)
- Hydraulic Loading Rate (HLR) = 1 m³/m².jam (<2 m³/m².jam)
- Porositas media filter = 92 % (media bioball)
- Volume media = debit x COD / OLR
= 78470 L/hari x 0,00032 kg/L x
10 kg COD/m³/hari

- Volume rongga
 - = $25,1 \text{ m}^3$
 - = Porositas x Volume media
 - = $92 \% \times 25,1 \text{ m}^3$
 - = $23,1 \text{ m}^3$
- Td
 - = 24 jam
- A surface
 - = $V.\text{rongga} / \text{HLR}$
 - = $23,1 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$
 - = 1 m^2
- Total tinggi media
 - = $V.\text{rongga} / \text{Asurface}$
 - = $23,1 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^2$
 - = 23,1 m
- Tinggi 1 kompartemen
 - = 3 m (ditentukan)
- Jumlah kompartemen kompartemen
 - = total tinggi media / tinggi 1 kompartemen
 - = $23,1 \text{ m} / 3$
 - = 8 buah
- Cek td
 - = Volume rongga / HLR x Asurface
 - = $23,1 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam} \times 1 \text{ m}^2$
 - = 24 jam → **OK**
- Cek HLR
 - = Volume rongga / Asurface x td
 - = $24 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^2 \times 24 \text{ jam}$
 - = $1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ → **OK**
- Cek OLR
 - = $\text{kg COD} \times \text{debit} / v.\text{rongga}$
 - = $0,00032 \text{ kg/l} \times 78470 \text{ l/hari} / 23,1 \text{ m}^3$
 - = $10 \text{ kg COD} / \text{m}^3.\text{hari}$ → **OK**

Jadi dimensi biofilter aerobik adalah :

- Panjang = 1,4 m
- Lebar = 0,7 m
- Tinggi media filter = 3 m
- Tinggi reaktor = 4 m
- Freeboard = 0,3 m

Luas lahan yang diperlukan adalah :

$$\begin{aligned}
 &= (p \times l) \times \text{jumlah filter} \\
 &= (1,4 \text{ m} \times 0,7 \text{ m}) \times 8 \text{ buah} \\
 &= 8 \text{ m}
 \end{aligned}$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Efisiensi penurunan COD pada air limbah non toksik Rumah Sakit X menggunakan biofilter aerobik dengan media *bioball* pada stage 1 yaitu sebesar 52%, pada stage 2 sebesar 27% dan pada stage 3 sebesar 33%. untuk media kerikil yaitu pada stage 1 sebesar 27%, pada stage 2 sebesar 27%, dan pada stage 3 sebesar 32%.
2. Penurunan COD air limbah non toksik menggunakan biofilter aerobik di IPAL Rumah Sakit X
 - Penyisihan COD pada biofilter aerobik menggunakan media *bioball*, membutuhkan 2 stage agar didapatkan konsentrasi efluen yang memenuhi baku mutu.
 - Penyisihan COD pada biofilter aerobik menggunakan media kerikil, membutuhkan 3 stage agar didapatkan konsentrasi efluen yang memenuhi baku mutu.

Sehingga dari penelitian didapatkan bahwa biofilter aerobik variasi *bioball* dengan 2 stage merupakan jenis media dan jumlah stage terbaik dalam menurunkan kandungan COD pada air limbah non toksik Rumah Sakit X.
3. Dimensi biofilter aerobik jika diterapkan di Rumah Sakit X yaitu 1,4 m x 0,7 m x 4 m dengan 8 kompartemen dan membutuhkan luas lahan 8 m²

5.2. Saran

1. Pada proses seeding, sebaiknya media direndam diluar reaktor untuk memastikan bahwa seeding telah terbentuk
2. Kebutuhan oksigen disuplai dari penggunaan difuser agar oksigen dapat merata keseluruhan permukaan media
3. Running dilakukan saat biofilm sudah stabil sehingga didapatkan efisiensi removal yang tinggi

4. Dilakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui efisiensi penurunan TSS, NH_3 dan PO_4
5. Perlu adanya perencanaan DED biofilter aerobik jika diterapkan di IPAL Rumah Sakit X.

DAFTAR PUSTAKA

- Asmadi. 2013. **Pengelolaan Limbah Medis Rumah Sakit**. Gosyen Publishing, Yogyakarta.
- BPPT. 1994. **Teknologi Pengolahan Limbah Tahu-Tempe dengan Proses Biofilter Anaerob dan Aerob**. <http://www.enviro.bppt.go.id>. diakses tanggal 1 November 2014.
- Brown dan Cadwell. 2001. **A Guide Book for Local Governments for Developing Regional Watershed Protection Plans**. Georgia Environmental Protection Division.
- Clara, M., Strenn, B., Gans, O., Martinez, E., Kreuzinger, N., dan Kroiss, H. 2005. **Removal of Selected Pharmaceuticals, Fragrances and Endocrine Eisrupting Compounds in a Membrane Bioreactor and Conventional Wastewater Treatment Plant**. Water Research. 39(19), 4797–4807.
- Ding, J.J., Li, B., dan Zhang, H.R. 2012. **Oxygen-sensing Properties of Ormosil Hybrid Materials Doped Wirh Ruthenium(II) Complexes Via a Sol-gel Process**. Materials Letters, 61(16), 3374-3377.
- Fardiaz, S. 1992. **Mikrobiologi Pangan 1**. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Filliazati, M., Apriani, I., dan Zaha, A.T. 2013. **Pengolahan Limbah Cair Domestik dengan Biofilter Aerob Menggunakan Media *Bioball* dan Tanaman Kiambang**. Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- Hendrayani, AA Dewi. 2014. **Pengaruh Ketebalan Media Geotekstil dan Arah Aliran Terhadap Penyisihan Kekeruhan dan Total Coli Pada *Slow Sand Filter* Rangkaian Seri**. Tugas Akhir Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Herlambang, Arie. 2001. **Pengaruh Pemakaian Biofilter Struktur Sarang Tawon pada Pengolah Limbah Organik Sistem Kombinasi Anaerob-Aerob (Studi**

- Kasus: Limbah Tahu dan Tempe).** Jurnal Teknologi Lingkungan, 2(1), 28-36.
- Herlambang, Arie., dan Marsidi, Ruliasih. 2002. **Proses Nitrifikasi dengan Sistem Biofilter untuk Pengolahan Air Limbah yang Mengandung Amoniak Konsentrasi Tinggi.** Jurnal Teknologi Lingkungan, 3(3), 195-204.
- Jamilah., Ilyas, S., dan Mizarwaty. 1998. **Pembentukan dan Kontrol *Biofilm* oleh *Aeromonas Hydrophilla* pada Bahan Plastik dan Kayu.** Laporan Penelitian. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara.
- Karatan, E. dan Watnick, P. 2009. **Signals, Regulatory Networks and Materials that Build and Break Bacterial *Biofilms*.** Microbiol Mol Biol Rev, 73(2), 310-47.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 58 Tahun 1995. **Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Rumah Sakit.**
- Khusnuryani, Arifah. 2008. **Mikrobia sebagai Agen Penurun Fosfat pada Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit.** Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi. IST AKPRIND Yogyakarta, 144-151.
- Kurniawati, Susi. 2013. **Biofilter dan Biorack Wetland sebagai Pengolah Limbah Laundry.** Tugas Akhir Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Liu, Q., Zhou, Y., Chen, L., dan Zheng, X. 2010. **Application of MBR for Hospital Wastewater Treatment in China.** Journal of Desalination. 250(2), 605-608.
- Metcalf dan Eddy. 2003. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.** Fourth Edition. McGraw Hill Companies, Inc, New York.
- Nurdijanto, S. A., Purwanto., dan Sasongko, S.B. 2011. **Rancang Bangun dan Rekayasa Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit.** Jurnal Ilmu Lingkungan, 9(1), 25-30.
- Parasmita, B.N., Oktawian, W., dan Hadiwidodo, M. 2011. **Studi Pengaruh Waktu Tinggal Terhadap Penyisihan Parameter BOD5, COD dan TSS Lindi Menggunakan**

- Biofilter Secara Anaerob-Aerob.** Jurnal Teknik Lingkungan, 2(1). 1-16.
- Pangestuti, Tika. 2014. **Peningkatan Kualitas Efluen Air Limbah di RSUD Dr M. Soewandhi Surabaya Menggunakan Biofilter Aerobik.** Tugas Akhir Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Peraturan Gubernur Jatim Nomor 72 Tahun 2013. **Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya.**
- Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 340 Tahun 2010. **Klasifikasi Rumah Sakit.**
- Pohan, N. 2008. **Pengolahan Industri Cair Limbah Tahu dengan Proses Biofilter Aerobik.** USU e-repository, Medan.
- Prakoswo, D.Y., dan Karnaningroem, Nieke. 2007. **Pengolahan Air Tanah Dangkal dengan Biofilter Upflow Media Bioball Untuk Budidaya Ikan Hias.** Tugas Akhir Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Said, N.I. 2000. **Teknologi Pengolahan Air limbah dengan Proses Biofilm Tercelup.** Jurnal Teknologi Lingkungan, 1(2). 101-113.
- Said, N.I. 2001. **Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit dengan Proses Biologis Biakan Melekat Menggunakan Media Plastik Sarang Tawon.** Jurnal Teknologi Lingkungan, 2(3), 223-240.
- Said, N.I, dan Tresnawaty, Rina. 2001. **Penghilangan Amoniak di dalam Air Baku Air Minum dengan Proses Biofilter Tercelup Menggunakan Media Plastik Sarang Tawon.** Jurnal Teknologi Lingkungan, 2(1). 11-27.
- Said, N. 2005. **Aplikasi Bioball Untuk Media Biofilter Studi Kasus Pengolahan Air Limbah Pencucian Jeans.** Jurnal Air Indonesia, 1(1), 1-11.
- Said, N.I. 2006. **Paket Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit yang Murah dan Efisien.** Jurnal Air Indonesia, 2(1), 52-65.

- Salmin. 2000. **Kadar Oksigen Terlarut di Perairan Sungai Dadap, Goba, Muara Karang dan Teluk Banten**. P30-LIPI, 42-46.
- Sawyer, C.N., McCarty, P.L., Parkin, G.F. 2003. **Chemistry For Enviromental Engineering and Sciences**. Fifth Edition. The McGraw Hill Companies, Inc, New York.
- Slamet, A., dan Masduki, A. 2002. **Satuan Proses**. Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Suparmadja, Aria. 2014. **Analisis Risiko dan Optimasi Kinerja IPAL Rumah Sakit Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis***. Tugas Akhir Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 44 Tahun 2009. **Rumah Sakit**.
- Verlicchi, P., Galletti, A., Petrovic, M., dan Barcelo, D. 2010. **Hospital Effluents as a Source of Emerging Pollutants: An Overview of Micropollutants and Sustainable Treatment Options**. Journal of Hydrology, 389(3-4), 416-428.
- Wang, L. K., Lung, Y., Shammass., dan Nazih. 2010. **Handbook of Advanced Industrial and Hazardous Wastes Treatment**. CRC Press, United States of America.
- Winkler 1981. **Biological Treatment of Wastewater**. John Willey and Sons, New York.

LAMPIRAN A

DATA PERHITUNGAN REAKTOR

Reaktor biofilter aerobik rangkaian seri ini memiliki bentuk yang sama pada tiap stage nya, baik yang berisi media bioball maupun media kerikil.

a. Reaktor I (media bioball)

- Panjang = 20 cm
- Lebar = 20 cm
- Tinggi = 65 cm
- Dimensi filter
 - Tinggi media = 40 cm
 - Tinggi muka air = 5 cm
 - Tinggi ruang lumpur = 5 cm
- Volume media total = panjang x lebar x tinggi media
= (20 x 20 x 40) cm = 16000 cm³
= 16 L
- Porositas rongga bioball = 0,92
- Volume rongga = porositas x volume media total
= 0,92 x 16 L = 14,72 L
- Volume air diatas media = (panjang x lebar x tinggi muka air)
= (20x20x5)cm = 20 cm³
= 2 L
- Volume air total = Volume rongga + volume air diatas media
= 14,72 L + 2 L = 16,72 L
- Waktu tinggal didalam reaktor = 8 jam
- Debit air (Q) = $\frac{Vol}{td} = \frac{16,72 L}{8 jam} = 2,09 L/jam$
= 0,58 ml/s

- Kecepatan filtrasi =
$$\frac{Q}{\text{Luas permukaan}} = \frac{0,00209 \text{ m}^3/\text{jam}}{(0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m})} = 0,052 \text{ m/jam}$$

b. Reaktor II (media kerikil)

- Panjang = 20 cm
- Lebar = 20 cm
- Tinggi = 65 cm
- Dimensi filter
 - Tinggi media = 40 cm
 - Tinggi muka air = 5 cm
 - Tinggi ruang lumpur = 5 cm
- Volume media total = panjang x lebar x tinggi media
 = (20 x 20 x 40) cm = 16000 cm³
 = 16 L
- Porositas rongga kerikil = 0,4
- Volume rongga = porositas x volume media total
 = 0,4 x 16 L = 6,4 L
- Volume air diatas media = (panjang x lebar x tinggi muka air)
 = (20x20x5)cm = 20 cm³
 = 2 L
- Volume air total = Volume rongga + volume air diatas media
 = 6,4 L + 2 L = 8,4 L
- Waktu tinggal didalam reaktor = 8 jam
- Debit air (Q) = $\frac{Vol}{td} = \frac{8,4 \text{ L}}{8 \text{ jam}} = 1,05 \text{ L/jam}$
 = 0,29 ml/s ≈ 0,3 ml/s

- Kecepatan filtrasi =
$$\frac{Q}{\text{Luas permukaan}} = \frac{0,00105 \text{ m}^3/\text{jam}}{(0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m})} = 0,026 \text{ m/jam}$$

c. Headloss

- Perhitungan Kehilangan Tekanan (*Headloss*) pada reaktor I dan II

Diketahui :

$$\begin{aligned} \Phi &= 0,73 & D &= 40 \text{ cm} \\ g &= 9,81 \text{ m/s}^2 & \varepsilon &= 0,52 \text{ cm} \\ d &= 3 \text{ cm} & v &= 0,8774 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \\ V_a &= 50 \text{ m/jam} \end{aligned}$$

$$= 1,38 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{detik}$$

$$\begin{aligned} N_{re} &= \frac{\Phi \times d \times V_a}{v} \\ &= \frac{0,73 \times 0,03 \times 0,0138}{0,8774 \times 10^{-6}} = 345 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CD &= \frac{24}{N_{re}} + \frac{3}{\sqrt{N_{re}}} + 0,34 \\ &= \frac{24}{345} + \frac{3}{\sqrt{345}} + 0,34 \\ &= 0,07 + 0,16 + 0,34 = 0,57 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_L &= \frac{1,067}{\Phi} \times \frac{CD}{g} \times D \times \frac{V_a^2}{\varepsilon^2} \times \frac{1}{0,015} \\ &= \frac{1,067}{0,73} \times \frac{0,57}{9,81} \times 0,4 \times \frac{0,138^2}{0,52^2} \times \frac{1}{0,015} = 0,15 \text{ cm} \\ &= 1,46 \times 0,054 \times 0,4 \times 0,07 \times 66,67 \end{aligned}$$

d. Kebutuhan oksigen

Kebutuhan oksigen dihitung untuk menentukan spesifikasi aerator yang akan digunakan pada reaktor, agar suplai udara tercukupi untuk perkembangbiakan mikroorganisme

- COD yang dihilangkan = 280 mg/L
- Debit air limbah = 16,72 L/hari
- Beban COD yang dihilangkan = debit air limbah x COD yang dihilangkan
$$= 16,72 \text{ L/hari} \times 280 \text{ mg/L}$$
$$= 4682 \text{ mg/hari} =$$
$$0,004682 \text{ kg/hari}$$
- Faktor keamanan $\pm 1,5$ (Said, 2005)
Kebutuhan oksigen teoritis = $1,5 \times 0,004682 \text{ kg/hari} =$
 $0,007023 \text{ kg/hari}$
- Berat jenis udara dalam suhu $25^{\circ} \text{C} = 1,1725 \text{ kg/m}^3$
- $\text{O}_2 = 21\%$
- Kebutuhan oksigen
$$= \frac{0,007023 \text{ kg/hari}}{1,1725 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,21 \text{ g} \frac{\text{O}_2}{\text{g}} \text{udara}}$$
$$= 0,002 \text{ m}^3/\text{hari}$$
- Efisiensi diffuser = 2,5%
- Kebutuhan udara aktual
$$= \frac{0,002 \text{ m}^3/\text{hari}}{0,025}$$
$$= 0,08 \text{ m}^3/\text{hari}$$
$$= 0,0033 \text{ m}^3/\text{jam}$$
- Spesifikasi air pump yang digunakan
 - Merk = Recent
 - Model = RC-350
 - Power = 3 watt
 - Air flow = 108 L/jam

e. Pompa

Pompa yang digunakan yaitu pompa celup submersible

- Total Head = 65 cm + 65 cm + 65 cm
= 195 cm
- Spesifikasi pompa
 - Merk = Hai Long
 - Model = H-105
 - Tegangan = 220 V – 240 V
 - Tinggi maksimum = 3 meter
 - Daya maksimum = 3000 L/jam

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Tabel Excel Treatment Data Biofilter Aerobik

| daily waste water flow | time of most waste water flow | max. Peak flow per hour | COD inflow | BOD5 in flow | SS settl / COD ratio | lowest digester temper | HRT in septic tank | de-sludging interval | COD removal septic tank | BOD5 removal septic tank | BOD / COD remv. Factor |
|------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|--|------------------------|--------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| given | given | calcul | given | given | given | given | chosen | chosen | calcul | calcul | calcul |
| m3/day | h | m3/h | mg/L | mg/L | mg/L / mg/L | C | h | months | % | % | ratio |
| 78,47 | 24 | 3,269583 | 320 | 192 | 0,5 | 26 | 2 | 12 | 0,289844 | 0,307234 | 1,06 |
| COD/BOD5 -> | | | 1,666667 | 0,35-0,45 (domestic) | | | 2h | | | | |
| Treatment data | | | | | | | | | | | |
| COD inflow in AF | BOD5 inflow into AF | specific surface of filter medium | voids in filter mass | HRT inside AF reactor | factors to calculate COD removal rate of aerobic biofilter | | | | COD removal rate (AF only) | COD outflow of AF | COD removal rate of total system |
| calcul | calcul | given | given | chosen | calculated according to graphs | | | | calcul | calcul | calcul |
| mg/L | mg/L | m2/m3 | % | HRT inside AF reactor | f-temp | f-strenght | f-surface | f-HRT | % | mg/L | % |
| 320 | 192 | 220 | 0,92 | 24 | 1,016 | 0,8972 | 1,06 | 0,67 | 0,85455 | 46,54394 | 0,85455 |
| | | Bioball | | 12-24 h | | | | | | | |

Tabel Dimensi Biofilter Aerobik

| Organik Loading Rate (OLR) | Hydraulic loading rate (HLR) | Porositas | Volume Media | Volume Rongga | Waktu tinggal | A.surface | Tinggi | Tinggi Media | Lebar | Panjang | Jumlah Filter | Tinggi Reaktor | Luas lahan total biofilter |
|----------------------------|-------------------------------------|-----------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------|--------------|----------|----------|---------------|----------------|----------------------------|
| diketahui | diketahui | diketahui | dihitung | dihitung | diketahui | dihitung | dihitung | diketahui | dihitung | dihitung | dihitung | diketahui | dihitung |
| kg/m ³ .hari | m ³ /m ² .jam | % | m ³ | m ³ | jam | m ² | m | m | m | m | buah | m | m ² |
| 10 | 1 | 92 | 25,1 | 23,1 | 24 | 1,0 | 4 | 3 | 0,7 | 1,4 | 8 | 4 | 8 |
| (10-12) | <2.0 | bioball | | | (18-24) | | | | | | | | |

Sumber : hasil Perhitungan

LAMPIRAN B

PROSEDUR ANALISIS COD

- **Bahan dan Alat**

- 1) Larutan Kalium Dikromat $K_2Cr_2O_7$
- 2) Kristal Perak Sulfat (Ag_2SO_4) dicampur dengan Asam Sulfat (H_2SO_4)
- 3) Larutan Standart Fero Amonium Sulfat 0,025 N
- 4) Larutan Indikator Fenantrolin Fero Sulfat (Feroin)
- 5) Buret 50 mL 1 buah
- 6) Tabung COD 2 buah
- 7) Pipet 10 mL, 5 mL
- 8) Beker glass 50 mL 1 buah

- **Prosedur Percobaan**

- 1) Tuangkan 1 mL air sampel dan 1 mL air aquadest (sebagai blanko) ke dalam masing masing erlenmeyer COD.
- 2) Tambahkan 1,5 mL larutan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,1 N.
- 3) Tambahkan 3,5 mL larutan campuran H_2SO_4 dan Ag_2SO_4 .
- 4) Nyalakan kompor dan letakkan tabung COD pada rak besi yang diletakkan diatas kompor tersebut selama 2 jam.
- 5) Matikan kompor dan tunggu tabung COD sampai dingin.
- 6) Tambahkan 1 tetes indikator feroin.
- 7) Titration kedua larutan di erlenmeyer tersebut dengan larutan standart Fero Amonium Sulfat 0,025 N hingga warna menjadi merah-coklat.
- 8) Hitung COD sampel dengan rumus berikut:

$$COD\left(\frac{mg}{L} O_2\right) = \frac{(a-b) \times N \times 8000}{vol.sampel} \times f_{xp}$$

dimana:

a = mL FAS titrasi blanko

b = mL FAS titrasi sampel

N = normalitas larutan FAS

F = faktor (20 : titran blanko ke dua)
p = pengenceran

PROSEDUR ANALISIS NILAI PERMANGANAT

- Bahan dan Alat

- 1) Larutan Asam Sulfat (H_2SO_4) 4 N yang bebas organik.
- 2) Larutan Asam Oksalat 0,1 N
- 3) Larutan Kalium Permanganat ($KMnO_4$)
- 4) Pemanas Listrik
- 5) Buret 25 mL atau 50 mL
- 6) Erlenmeyer 250 mL 1 buah
- 7) Gelas ukur 100 mL
- 8) Pipet 10 mL, 1 mL

- Prosedur Percobaan

- 1) Tuangkan sampel air sebanyak 100 mL dengan gelas ukur.
- 2) Tambahkan 2,5 mL Asam Sulfat 4 N bebas organik.
- 3) Tambahkan bebrapa tetes larutan Kalium Permanganat ($KMnO_4$) 0,01 N hingga terjadi warna merah muda.
- 4) Panaskan hingga mendidih selama 1 menit.
- 5) Tambahkan 10 mL larutan Kalium Permanganat ($KMnO_4$) 0,01 N.
- 6) Panaskan hingga mendidih selama 10 menit.
- 7) Tambahkan 1 mL larutan Asam Oksalat 0,1 N dan tunggu sampai air menjadi jernih.
- 8) Titrasi dengan Kalium Permanganat ($KMnO_4$) 0,01 N sampai timbul warna merah muda.
- 9) Hitung nilai Permanganat dengan menggunakan rumus berikut:

$$KMnO_4 (l) = \frac{1000}{vol. contoh} \left[\{(10 + a) \cdot xN\} - (1 \times 0,1) \right] \cdot x31,6 \cdot P$$

dimana: a = mL titrasi larutan Kalium Permanganat ($KMnO_4$)







N = normalitas larutan Kalium Permanganat

P = pengenceran

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN C GAMBAR PENELITIAN

| | |
|---|---|
|  |  |
| Rangkaian seri biofilter aerobik | Reaktor biofilter aerobik |
|  |  |
| Tinggi muka air reaktor | Media kerikil |
|  |  |
| Media bioball | Aerator |

| | |
|--|--|
|  |  |
| Pompa ekualisasi | Pompa pembuangan |
|  |  |
| Hasil pengolahan biofilter aerobik pada media bioball | Hasil pengolahan biofilter aerobik pada media kerikil |
|  |  |
| Uji permanganat pada biofilter aerobik | Uji COD pada biofilter aerobik |

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Gresik, 25 Januari 1993, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formal di MI Al-Ma'arif Sukomulyo, SMP Mu'allimat NU Gresik, dan SMAN 1 Gresik. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS Surabaya pada tahun 2011-2015 dan terdaftar dengan NRP 3311 100 015.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif di dalam organisasi kemahasiswaan sebagai Anggota divisi KSDA Komunitas Pecinta dan Pemerhati Lingkungan HMTL periode 2012/2013 dan menjadi bendahara Komunitas Pecinta dan Pemerhati Lingkungan HMTL periode 2013/2014. Selain itu, penulis juga aktif menjadi panitia di berbagai kegiatan HMTL maupun ITS dan aktif sebagai asisten praktikum pada mata kuliah Mikrobiologi Lingkungan. Penulis berkesempatan menjalankan Kerja Praktik di PT. Liku Telaga dengan tema Penerapan Kesehatan dan Keselamatan Kerja. Penulis dapat dihubungi via email aufaisyyatul@gmail.com.